4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y SISTEMAS COMPUTACIONALES (CIMEEM2011).

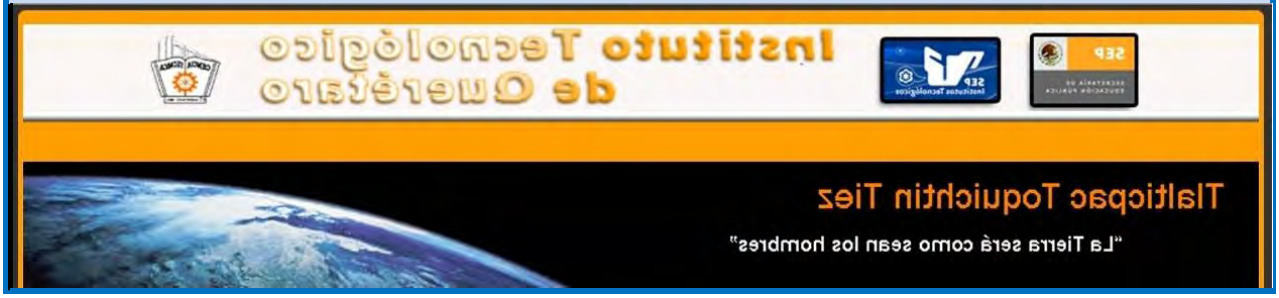
Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011

Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS CIMEEM2011 en extenso

(ISBN en trámite)



INDICE

1. Organización y difusión
    1.1. Organización
    1.2. Difusión (Sitio Web, Comité Organizador, Editores de la Memoria)
2. Evaluación de trabajos
    2.1. Formato para el trabajo
    2.2. Propuesta de formato para cartel
    2.3. Formato para evaluación
    2.4. Lista de revisores.
3. Trabajos presentados
    3.1. Listas de trabajos
    3.2. Extensos PDF
4. Programación
    4.1. Programación general
    4.2. Programación de ponencias orales y carteles
5. Lista de autores e instituciones
    5.1. Lista de autores
    5.2. Lista de instituciones
    5.3. Lista de coautores
6. Relatoría y recomendaciones

1.1. ORGANIZACIÓN

INSTITUCIONES PROMOTORAS:

Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco

Mtra. Gabriela Paloma Ibáñez Villalobos
Rectora de la Unidad

Dr. Emilio Sordo Zabay
Director de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería

Dr. Rafael Escarela Pérez
Jefe del Departamento de Energía

Instituto Tecnológico de Querétaro

Dr. Pedro Alberto Quintana Hernández
Director

Ing. Felipe Estrada Rojas
Subdirector Académico

M. en C. Rodrigo Rodríguez Rubio
Jefe del Departamento de Electrónica

Escuela Superior de Cómputo del IPN

Ing. Apolinar Francisco Cruz Lázaro
Director

Dr. Flavio Arturo Sánchez Garfias
Subdirector académico

Dr. Jesús Yaljá Montiel Pérez
Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación

COMITÉ ORGANIZADOR

Mtro. Ahmed Zekour Zekour Coordinador interinstitucional	Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco
Dr. Zeferino Damián Noriega	
Mtro. Hernando Chagolla Gaona	Instituto Tecnológico de Querétaro
Dr. Eduardo Bustos Farías	Escuela Superior de Cómputo del IPN

COLABORADORES

Ing. Ernesto Montes Estrada Elías Sánchez Martínez	Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco
Ing. David Martínez Garrido Ing. Luis Ricardo Martín del Campo Ing. Luis Humberto Nava Trejo	Instituto Tecnológico de Querétaro
Erick Flores Nava Osvaldo García Fabián Edsel Serrano Montiel	Escuela Superior de Cómputo

© 4° Congreso Internacional de Ingenierías Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Mecatrónica y Sistemas Computacionales.

© Derechos reservados (ISBN en trámite)

Sitio Web:

http://cimeem.com

Diseño del sitio Web:

Dr. Eduardo Bustos Farías

Editores de la Memoria Técnica

Dr. Zeferino Damián Noriega	Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco
Mtro. Ahmed Zekour Zekour	Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco
Dr. Eduardo Bustos Farías	Escuela Superior de Cómputo del IPN
Mtro. Hernando Chagolla Gaona	Instituto Tecnológico de Querétaro

Diseño de la portada:

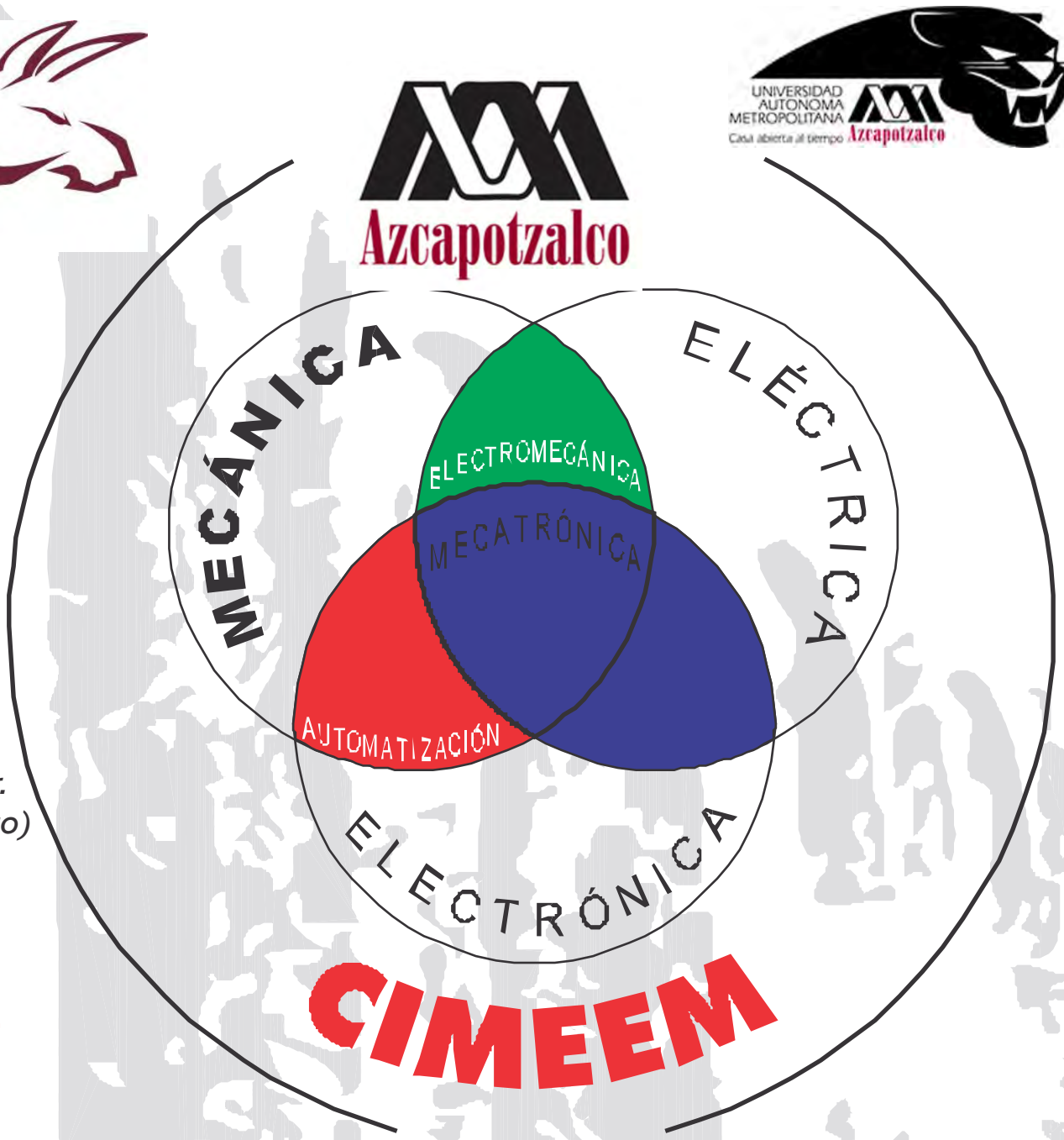
Dr. Zeferino Damián Noriega

1.2.1. Página WEB del Congreso: http://cimeem.com/ Correo: cimeem2011@fenix.uam.mx

1.2.1. Página WEB del Congreso: http://cimeem.com/ Correo: cimeem2011@fenix.uam.mx

1.2.1. Página WEB del Congreso: http://cimeem.com/ Correo: cimeem2011@fenix.uam.mx

4to Congreso Internacional de Ingenierías
Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Mecatrónica y Sistemas Computacionales
Querétaro, Qro. 27, 28, 29 de Septiembre de 2011



Conferencias Magistrales:

- **"Vinculación"** *Mtro. Pedro Solares (México)*
- **"Engranajes "** Dr. *Javier Antesana López (Argentina)*
- **"Dotando de ojos a las Máquinas"** *Dr. Juan Humberto Sossa Azuela. CIC. (México)*
- **"Sistema de Producción Japonés"** *Hitoshi Huraki (JICA Japón-México)*
- **"Preparing Engineering Students for Globalization"** *Mtra. Anna Friesel (Dinamarca)*

Talleres ($ 250.00 C/U):

- *Programación de dispositivos móviles con ANDROID.*
- *CNC , CAD, CAM.*
- *Programación de Robots. (otros)*

Visitas Industriales.

Stands de Exposición

Proyectos Exposición

Eventos Culturales.

"Por un bicentenario con vinculación integral interinstitucional en pro del desarrollo sustentable de México."

Inscripciones: www.cimeem.com

Sede: Instituto Tecnológico de Querétaro.

Av. Tecnológico s/n Esq. M. Escobedo Col. Centro C.P.76000 Querétaro, Qro. México.

Fecha limite de Inscripción al Evento:
26 de Sep. de 2011.
10% de descuento antes del 15 de Sep.
"CUPO LIMITADO"

www.uam.azc.mx

Cuota de Recuperación:

Ponentes	$1,500.00
Estudiantes	$300.00
Profesionistas	$600.00

www.itq.edu.mx/cimeem2011

DIRECTORIO

UAM Azcapotzalco

Mtra. Paloma Ibañez Villalobos
Rectora de la Unidad

Ing. Darío Eduardo Guaycochea Guglielmi
Secretario de la Unidad

ITQ

Dr. Pedro Alberto Quintana Hernández
Director del ITQ

ESCOM - IPN

Ing. Apolinar Francisco Cruz Lázaro
Director

Dr. Flavio Arturo Sánchez Garfias
Subdirector Académico

COMITE ORGANIZADOR

Ing. Ernesto Montes Estrada
(5318-9067)
UAM Azcapotzalco
eme@correo.azc.uam.mx

Mtro. Hernando Chagolla Gaona
Ing. Luis Ricardo Ramírez Martin del Campo
(442) 227-4418
ITQ
hchagollag@hotmail.com

Dr. Jesús Yaljá Montiel Pérez
5729-6000 etx. 52028
ESCOM
yalja@ipn.mx

COMITE CIENTÍFICO

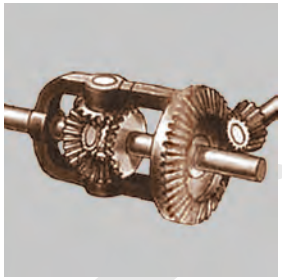
Dr. Zeferino Damián Noriega
(5318-9068)
UAM Azcapotzalco
zdn@correo.azc.uam.mx

Dr. Eduardo Bustos Farias
5729-6000 etx. 52028
ESCOM
ebustosf@ipn.mx

COORDINADOR INTERINSTITUCIONAL

Dr. Ahmed Zekkour Zekkour
UAM Azcapotzalco
azz@correo.azc.uam.mx

Ing. David Martínez Garrido
ITQ



UAM - AZCAPOTAZALCO
Av. San Pablo No. 180,
Col. ReynosaTamaulipas,
Deleg. Azcapotzalco,
C.P. 02200 México, D.F.
Tel. 5318-9067
5318-9068
5318-9049

ITQ
Av. Tecnológico
Esq. Gral. M. Escobedo S/N
Col. Centro, Querétaro Qro.
C.P. 76000
Tel. (442) 227-4418

ESCOM - IPN
Av. Juan de Dios Bátiz esq.
Miguel Othón de Mendizabal
Col. Lindavista, C.P. 07738
México, D.F.
Tel. 5729-6000 Ext. 52051

www.cimeem.com

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo Azcapotzalco

MECÁNICA · ELÉCTRICA · ELECTRÓNICA · ELECTROMECÁNICA · MECATRÓNICA · AUTOMATIZACIÓN · SISTEMAS COMPUTACIONALES

CIMEEM 2011

IPN

CIENCIA TECNICA
IT QUERETARO - MEX.

Instituto Tecnológico
de Querétaro

``Por un bicentenario con vinculación integral interinstitucional en pro del desarrollo sustentable de México.´´

Invita:
UAM Azcapotzalco
Instituto Tecnológico de Querétaro
ESCOM-IPN al:

4to. Congreso Internacional de Ingenierías Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Mecatrónica y Computacional

los días 27, 28 y 29 de sep. de 2011

Se extiende una cordial invitación a participar en el 4to. Congreso Internacional de Ingenieras Mecánica, Eléctrica, Eléctronica, Mecatrónica y Computacional (CIMEEM), que se celebrará en la Ciudad de Querétaro el 27, 28 y 29 de Septiembre de 2011, en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Querétaro.

Dirigido a:
*Estudiantes
*Académicos
*Profesionistas
*Empresarios

Objetivo:
Difundir avances y resultados de desarrollo tecnológico, de investigación básica o aplicada, Sustentable en el campo de las Ingenierías: Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Mecatrónica y Sistemas Computacionales.

Actividades:
*Conferencias magistrales
*Ponencias
*Exposición de carteles
*Exposición de productos y servicios
*Visitas industriales
*Talleres
*Visitas guiadas

Temas a Desarrollar:
*Fuentes alternas de energía
*Automatización
*Bioelectrónica
*Biomecánica
*Comunicaciones
*Control
*Diseño
*Hidráulica
*Instrumentación y metrología
*Manufactura
*Neumática
*Optoelectrónica
*Materiales y propiedades mecánicas
*Sistemas digitales
*Sistemas computacionales
*Robótica
*Sistemas eléctricos
*Térmica
*Educación en ingeniería
*Uso y aplicación sustentable de la energía

Fecha límite de
Inscripción al Evento
27 de septiembre de 2011

Recepción de ponencias en extenso
17 de julio de 2011

Notificación de ponencias aceptadas
7 de agosto de 2011

Recepción de versión final
21 de agosto de 2011

Recepción de trabajos
http://www.easychair.org/account/signin.cgi?conf=cimeem2011

Cuota de Recuperación (Más I.V.A.)
Ponentes $1,500.00
Estudiantes $300.00
Profesionistas $600.00

10% de descuento antes del 15 de sep.

Informes e inscripciones:
www.cimeem.com

ACUSE

A-CBI-DIR-F-03 Solicitud _____

Fecha de solicitud de evaluación: 22 nov 2011

Consejo Editorial de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería.
Presente

Por este medio solicito se proceda a la revisión de la obra:
Memorias Técnicas CIMEEM 2011 en extenso.
(4º Congreso de Ingenierías Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Mecatrónica y Sistemas Computacionales)

para su publicación por parte de nuestra Universidad. Los materiales que acompañan este oficio son tres ejemplares impresos de la obra y un disco compacto con un respaldo en formato electrónico.

Me permito sugerir la siguiente clasificación del material, para su consideración por el Consejo Editorial y los revisores:

- ☐ Manual de paquete didáctico
- ☐ Notas de curso normal
- ☐ Notas de curso especial
- ☐ Antologías comentadas
- ☐ Libros de texto
- ☐ Documental fotográfico
- ☐ Diaporama
- ☐ Traducción de libro
- ☐ Traducción de artículo
- ☐ Traducción editada de documental
- ☐ Reporte de investigación o técnico
- ☐ Libro científico
- ☐ Artículo periodístico o reseña de libro
- ☐ Libro de divulgación
- ☑ Libro colectivo
- ☐ Traducción de libro
- ☐ Traducción editada de documental
- ☐ Creación artística - fotografía
- ☐ Creación artística - pintura
- ☐ Creación artística – obra gráfica
- ☐ Guión de cine, radio, o televisión
- ☐ Paquete computacional

☐ Publicación artística (libro de poemas, libro de cuentos, novelas, ensayo de creación literaria, libro de relatos, obra teatral, obra musical, ilustración de obra literaria, libro de ilustración)
☐ Otro. Especificar:

☐ Como se trata de una obra de Apoyo para la Docencia, en forma anexa especifico las uea que recibirán apoyo con su publicación y entrego una impresión de los programas sinópticos correspondientes.

Con un tiraje de 150 ejemplares

El nombre y adscripción de cada uno de los coautores es como sigue:

1. Dr. Zeferino Damián Noriega (Coordinador) Depto. de Energía UAM-A
2. Mtro Ahmed Zekour Zekour (Coordinador) Depto. de Energía UAM-A
3. Dr. Eduardo Bustos Farías (Coordinador) Escuela Superior de Cómputo del IPN
4. Mtro. Hernando Chagolla Gaona (Coordinador) Instituto Tecnológico de Querétaro

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA Casa abierta al tiempo Azcapotzalco
DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
22 NOV 2011
RECIBIDO
PRODUCCIÓN EDITORIAL Y DIFUSIÓN
JUAN MANUEL COLINDO MEDINA

Atentamente,

"Casa Abierta al Tiempo"

Dr. Zeferino Damián Noriega

c.c.p. Oficina de Producción Editorial y Difusión de Eventos

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA Casa abierta al tiempo Azcapotzalco

CBI DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA UAM - Azcapotzalco

FORMATO PARA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS AL CIMEEM2011

Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno[1], Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno[2], Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno[2], …etc. (texto centrado)

Resumen

El resumen del trabajo debe redactarse con 200 palabras como máximo. Debe contener una breve introducción, objetivo del trabajo, material y método, resultados y discusión. No utilice acrónimos ni cite referencias. Prepárelo con *Microsoft Word* pero envíelo en PDF para su revisión, para minimizar el tamaño del archivo. Para su envío final utilice *Microsoft Word*. El tamaño del formato es A4: 210 mm de ancho y 297 de altura. Primera página: margen superior de 6 cm, izquierdo de 3 cm, inferior y derecho de 2.5 cm. Segunda y restantes páginas: margen superior de 3 cm, y restantes como la primera página. Utilice la fuente *Times New Roman* tamaño 10 para el texto del resumen, sin tabulación izquierda, y textos justificados en todo el ancho del renglón (una sola columna). Puede usted redactar directamente su trabajo utilizando este formato como plantilla. La extensión del trabajo debe ser de 6 a 8 páginas máximo. Redacte su resumen tanto en español como en inglés.

Palabras clave: proporcione de 3 a 5 palabras o frases clave, en orden alfabético y separadas con una coma, que sean representativas del tema correspondiente al trabajo. Procure no anotar conceptos generales como palabras clae (esfuerzo, digital, etc.).

Abstract

Aquí traduzca su resumen en español anterior al inglés; puede utilizar el *traductor de Google* disponible en Internet para una traducción preliminar. Se recomienda auxiliarse de una persona de habla inglesa nativa.

Keywords: traduzca sus palabras clave en español, al inglés.

Introducción

Por cuarta ocasión va a celebrarse el Congreso de Ingenierías Mecánica, Eléctrica, Electrónica y Mecatrónica. En las tres ediciones anteriores, el evento se llevó a cabo en el campus de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM-A), y en esta cuarta edición, se celebrará en la ciudad de Querétaro, Estado de Querétaro, México, del 27 al 29 de septiembre de 2011.

Las instituciones promotoras son nuevamente la UAM-A pero ahora se tiene la colaboración tanto del Instituto Tecnológico de Querétaro (ITQ) como de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional (ESCOM-IPN). Aunque en las primeras tres ediciones (CIMEEM2006, CIMEEM2007 y CIMEEM2008) la denominación del congreso fue *nacional*, en la tercera edición se tuvo la participación de 12 trabajos de colegas sudamericanos, por lo que en esta cuarta edición se decidió darle denominación de *internacional*.

En cuanto a su trabajo, en este primer apartado haga una breve introducción a su trabajo, sin extenderse en conceptos bien conocidos por todos; describa los antecedentes, el objetivo de su trabajo e hipótesis del mismo (si se tiene). Para preparar su artículo se recomienda encarecidamente apegarse a estas instrucciones, pues su archivo electrónico aparecerá en las memorias del Congreso tal como usted lo presente. Para enfatizar algún término, utilice *itálicas,* no subraye.

[1] Institución. Dirección. Teléfono. E-mail.
[2] Institución. Dirección. Teléfono. E-mail.

Encabezados, subencabezados y textos

Para los encabezados utilice fuente Times New Roman (TNR) o Arial (A) tamaño 11 en negritas, con mayúscula la primera letra. Deben centrarse y estar precedidos por un renglón en blanco con fuente tamaño 10 y con un espaciado posterior de 6 puntos. Inicie el primer párrafo sin tabulación izquierda, y siguientes con una tabulación de 6 mm, y con interlineado sencillo, sin espaciado entre párrafos.

Para los párrafos utilice fuente normal tamaño 10. Los subencabezados deben alinearse a la izquierda, con fuente *itálica* tamaño 10, también precedidos por un renglón en blanco y con un espaciado posterior de 6 puntos. No coloque encabezados (o subencabezados) como último renglón de una página, mejor salte a la siguiente.

Ecuaciones

Utilice el editor de ecuaciones de Microsoft Word o el *MathType* (http://www.mathtype.com). No seleccione la opción "Flotar sobre el texto". Numere sus ecuaciones entre paréntesis normal en el margen derecho pero centrando la ecuación. Numere las ecuaciones consecutivamente. La ecuación debe estar precedida por un renglón en blanco, con tamaño 10 de fuente. Refiérase a "(1)," no "Eq. (1)" o "ecuación (1)," exceptuando al iniciar una frase: "La ecuación (1) es....".

Asegúrese de que los símbolos de su ecuación han sido definidos antes o inmediatamente después de que aparece la ecuación. En este último caso, el símbolo y su significado, a renglón sencillo (con un espaciado anterior de 6 puntos para el primero):

$$\varepsilon_y = 0.5T\left(\frac{1}{Ri} - \frac{1}{Rf}\right) \tag{1}$$

donde: ε_y – deformación unitaria en el punto de cedencia.
T – espesor de la lámina (mm)
R_i – radio inicial de doblado.
Rf – radio final de doblado.

Unidades

Use el Sistema Internacional de Unidades SI o el CGS para las unidades primarias (de preferencia el SI). Puede utilizar unidades inglesas como unidades secundarias (entre paréntesis). Por ejemplo se puede escribir "15 Gb/cm^2 (100 Gb/in^2)"; una excepción es cuando las unidades inglesas se usan para designar comercialmente un producto, tal como *disquete de 3½", Pantalla LCD de 2.0",* etc.

Figuras y Tablas

Asegúrese de que sus tablas y figuras sean legibles. El título o descripción de la tabla debe colocarse centrado y por arriba, con un espaciado posterior de 6 puntos, con fuente Arial *itálica* tamaño 9. El contenido de las tablas debe redactarse con fuente Arial tamaño 8, (ver Tabla 1).

Tabla 1. Tamaño y estilo de fuente para los artículos (Times New Roman y Arial).

Tamaño de fuente (puntos)	Estilo de fuente		
	Normal	**Negritas**	*Itálica*
8	Subíndices y superíndices, pies de página, contenido de tablas.		
9	Referencias		*Descripción de tablas y figuras.*
10	Textos y ecuaciones	**RESUMEN, SUMMARY**	
10		**ENCABEZADOS**	*Sub-encabezados*
11	Nombres de autores.		
14		**TÍTULO DEL ARTICULO**	

Respecto a las figuras: coloque su título o descripción por debajo, con fuente Arial *itálica* tamaño 8 (ver Fig. 1) y con un espacio entre figura y descripción equivalente a 6 puntos; no incluya descripciones como parte de ellas**, no coloque descripciones en "cajas de texto" ligadas a las figuras**, no ponga marcos alrededor de

ellas. Use la abreviación “Fig.” aún al iniciar una frase, para la localización rápida de la figura por parte del lector. En cuanto al formato de las figuras, su diseño debe estar *en línea con el texto*, y centradas.

Verifique que las tablas y figuras que incluye en su trabajo, estén citadas previamente en el texto, y colóquelas al inicio o al final de la página, no centradas en la misma. El espacio entre tabla (o figura) y texto debe ser suficiente para una buena presentación del trabajo: uno, uno y medio, o dos renglones en blanco con tamaño 8 de fuente, según el espacio disponible.

Referencias

Numere las citas consecutivamente en paréntesis cuadrados [1]. La puntuación (punto y seguido o punto y aparte) de la frase debe ser después del paréntesis [2]. Numere las referencias múltiples [1], [2], [3] con paréntesis separados: [1] – [3]. En el texto, refiérase al número de referencia simplemente “como en [3]”. Utilice fuente TNR tamaño 9.

No use “*et al*.” a menos que sean cuatro autores o más. No use “Ref. [5]” o “referencia [5]”, excepto al inicio de una frase: “La referencia [5] muestra…”.

Enliste las referencias al final del artículo, tal como en este documento se muestra. No ponga pies de página en la lista de referencias al final. Deje un espacio después de la inicial del autor.

Abreviaciones y Acrónimos

Defina las abreviaciones y los acrónimos desde la primera vez que se utilizan en el texto, aún después de que han sido definidos en el resumen. No use abreviaciones en el título a menos que sea inevitable.

Otras Recomendaciones

Deje un espacio después de puntos y comas. Evite palabras inespecíficas tales como “Usando (1), fue calculado el potencial”. [No queda claro quien o que fue usado (1)]. Escriba en su lugar, “El potencial fue calculado utilizando (1),” o “Usando (1), calculamos el potencial.”

Use un cero (o coma para países extranjeros que así lo tienen como norma) antes del punto decimal: “0.25,” no “.25.” Use “cm^3,” no “cc.” Indicar dimensiones en cada cifra como “0.1 cm × 0.2 cm,” no “0.1 × 0.2 cm^2.” La abreviación para segundos es “s”, no “seg.” No mezcle palabras completas con abreviaciones de unidades.

Si usted lo desea, puede escribir en la primera persona de singular o plural y utilizar la voz activa (“observe que...” u “observamos que...” en vez de “Se observó que...”).

Cuide su ortografía. Si su lengua nativa no es el inglés, por favor haga que un colega nativo de un país parlante en inglés revise su artículo. No numere las páginas, ya que éstas se numerarán según el orden que les corresponda en la publicación de los trabajos.

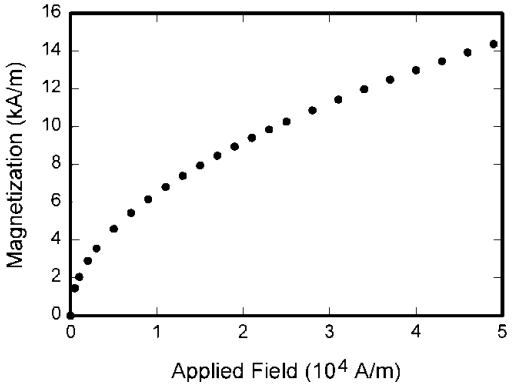


Fig. 1. Magnetización como función del campo aplicado.
Note el centrado de esta descripción de la figura (arial).

Conclusión (o discusión)

La sección "*conclusión o discusión"* es indispensable. Una conclusión puede revisitar los puntos principales del artículo para resaltar la importancia del trabajo, el problema que se resolvió, etc.; no repita el resumen como conclusión. Una "discusión" puede contener autocríticas, sugerir aplicaciones o trabajos futuros (complementarios o en línea con el tema de la investigación descrito).

Reconocimientos

Use un solo encabezado para todos los reconocimientos. Evite expresiones tales como "Uno de los autores desea agradecer…" mejor escriba "Tal Autor agradece...."

Apéndices

Los apéndices, cuando son necesarios, van después de los reconocimientos.

Referencias

Libros:

[1] Apellidos paterno y materno del autor, Inicial(es) del nombre. Apellidos paterno y materno del autor, Inicial(es) del nombre. Apellidos paterno y materno del autor, Inicial(es) del nombre. *Titulo del libro*. Edición. Año. Editorial. Ciudad. Cantidad de páginas (xxx páginas).

Artículos en revistas:

[2] Apellido del autor, Inicial del nombre. "Título del artículo". *Titulo de la revista.* Volumen (No.) (ejemplo: Vol. 3(5). Año (mes y año de publicación). Páginas en las cuales está descrito parte del artículo (ejemplo: pp. 131-139).

Artículos presentados en congresos:

[3] Apellido(s) del autor, Inicial del nombre. "Título del artículo". *Memorias del (nombre del congreso).* ISBN. Lugar y fecha del evento.

Direcciones de Internet:

[4] *Dirección electrónica de la página Web.* Fecha exacta de la consulta.

Comunicaciones personales:

[5] Apellidos paterno y materno del autor, Inicial(es) del nombre. Ciudad, año o fecha. *Comunicación personal.*

LÍMITE DE LA EXTENSIÓN DEL TRABAJO
(En página siguiente continúa otro trabajo)

FORMAT FOR PAPERS TO CIMEEM2011

First Name(s), Last Name[1]; First Name(s), Last Name[2]; First Name(s), Last Name[3]; First Name(s), Last Name[4], First Name(s), Last Name[5]; …etc. (centered text)

Summary

The abstract of the paper should be written with no more than 200 words. It should contain a brief introduction, objective of the work, materials and methods, results and discussion. Do not use acronyms or cite references. Make it with *Microsoft Word*, but send it in PDF for review, to minimize file size. Final submission to use *Microsoft Word*. The format is A4 size, 210 mm wide and 297 tall. First page: top margin of 6 cm, left 3 cm, bottom and right 2.5 cm. Second and remaining pages: top margin of 3 cm, and remaining as the first page. Use the *Times New Roman* size 10 for the abstract, without tabbing left justified and text across the width of the line (one column). You can write directly your work using this format as a template. The extension of the work must be 6 to 8 pages.
Keywords: Provide 3 to 5 key words or phrases in alphabetical order and separated by a comma, which are representative of the relevant item to work.

Introduction

For the fourth time will be held the Congress of Mechanical Engineering, Electrical, Electronics and Mechatronics. In the first three editions, the event was held on the campus of the Universidad Autonoma Metropolitana Azcapotzalco (UAM-A), and in this fourth edition will be held in the city of Querétaro, Querétaro, Mexico, 27 to September 29, 2011

The organizing institutions are again the UAM-A but now, with support from the Instituto Tecnológico de Querétaro (ITQ) and the School of Computing, National Polytechnic Institute (ESCOM-IPN). Although the first three editions (CIMEEM2006, CIMEEM2007 and CIMEEM2008) the name of the national congress was in the third edition had the participation of 12 works of South American colleagues, so that this fourth edition was decided to give *international* denomination.

In this first part of his article a brief introduction to his work, without elaborating on concepts well known to all, describing a long history, the goal of their work (and assumptions if any), etc. To prepare your article recommends following these instructions faithfully, for your electronic file will appear in the proceedings of Congress as you file. To emphasize use *italics*, not underline.

Headings, subheadings and texts

For headings use Times New Roman (TNR) or Arial (A) size 12 bold, capitalized the first letter. They must be centered and be preceded by a blank line with font size 10 and a 6-point spacing after. Start the first paragraph without left tab, and following with tabulation of 6 mm, with single spacing, no spacing between paragraphs.

For paragraphs, use normal font size 10. Subheadings should be flush left, with italic font size 10, also preceded by a blank line and a post spacing of 6 points. Do not place headings (or subheadings) as last line of a page, skip to the next best.

[1] Institution, adress, e-mail.
[2] Institution, adress, e-mail.
[3] Institution, adress, e-mail.
[4] Institution, adress, e-mail.
[5] Institution, adress, e-mail.

Equations

Use the equation editor of Microsoft Word or *MathType* (http://www.mathtype.com). Do not select the "Float over text". Number your equations between normal parentheses on the right but focusing the equation. Number equations consecutively. The equation should be preceded by a blank line, with size 10 font. Refer to "(1)," not "Eq. (1) "or" equation (1), "except to start a sentence:" Equation (1) is ....".

Make sure that the symbols of your equation have been defined before or immediately after it appears in the equation. In the latter case, the symbol and its meaning, a single line (with a space before the first 6 points):

$$\varepsilon_y = 0.5T\left(\frac{1}{Ri} - \frac{1}{Rf}\right) \quad (1)$$

where: εy - strain at the yield point.
T - thickness of sheet (mm).
Ri - initial radius of bending.
RF - final radio of bending.

Units

Use the International System of Units SI or CGS for the primary units (preferably SI). English units may be used as secondary units (in parentheses). For example you can write "15 Gb/cm2 (100 Gb/in2)" An exception is when English units are used to designate a product commercially, such as *floppy 3 ½ , "LCD 2.0 Screen",* etc.

Tables and Figures

Make sure your tables and figures are readable. The title or description of the table should be placed centered and above, with a spacing after 3 points, *italic* Arial font size 9. The table contents should be written with Arial font size 8 (see Table 1).

Concerning the figures: put your title or description below, with *italics* Arial size 9 (see Fig 1) and a space between the figure and description equivalent to 6 points, does not include descriptions as part of them, do not put descriptions "text boxes" linked to the figures, do not put frames around them. Use the abbreviation "Fig" even when you start a sentence.

Regarding the format of the figures, their design must be in line with the text, and centered. Verify tables and figures that you mention above are actually at work, and place them at the beginning or end of the page, not focused in the text. The space between the table (or figure) and text should be sufficient for a good presentation of work: one or two lines in white size 8, 9 or 10 source, according to available space.

Table 1. Font size and style for articles (Times New Roman and Arial)

Font size (points)	Font Style		
	Normal	**Bold**	*Italics*
8	Subscripts and superscripts, footnotes, table contents..		
9	References		*Description of Tables and Figures.*
10	Texts and equations	**SUMMARY**	
10		**HEADINGS**	*Subheadins*
11	Names of authors		
14		**ARTICLE TITLE**	

References

Number citations consecutively in square brackets [1]. The sentence punctuation should be after the brackets [2]. Number references multiple [1] [2] [3] with separate brackets [1] - [3]. In the text refer to the reference number just as in [3]. Use TNR font size 9.

Do not use "et al." unless four or more authors. Do not use "Ref [5] " or " reference [5] " except at the beginning of a sentence:" Reference [5] shows .... "

List references at the end of the article as shown in this document. Do not put footnotes in the reference list at the end. Leave a space after the initial author.

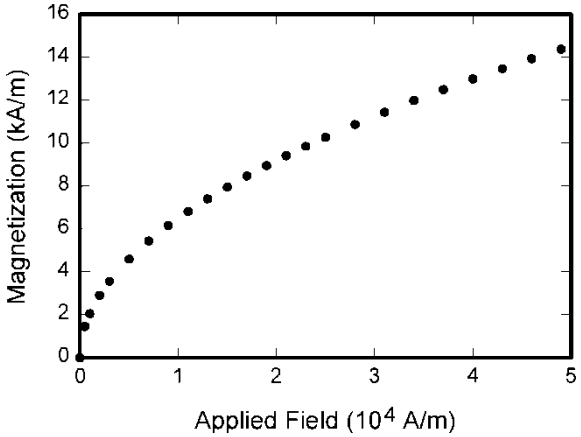


Figure 1. Magnetization as a function of applied field.
Note that the description is centered in the figure (Arial).

Abbreviations and Acronyms

Define abbreviations and acronyms the first time they are used in the text, even after they have been defined in the abstract. Do not use abbreviations in the title unless it is unavoidable.

Other recommendations

Leave one space after periods and commas. Avoid non-specific words such as "Using (1), calculated the potential." [It is not clear who or what was used (1)]. Write instead, "The potential was calculated using (1)," or "Using (1), we calculated the potential."

Use a zero before decimal points: "0.25," not ".25." Use "cm3," not "cc." Indicate dimensions in each figure as "0.1 cm. $\times$ 0.2 cm., "Not" 0.1 $\times$ 0.2 cm 2. "The abbreviation for seconds is" s, "not" sec. "Do not mix complete words with abbreviations of units.

If you wish, you can write in first person singular or plural and use the active voice ("note that ..." or "see that ..." instead of "It was observed that ...").

Do not number the pages as they are numbered in the order they are concerned in the publication of the work.

CONCLUSION OR DISCUSSION

The "conclusion or discussion" is indispensable. A conclusion may revisit the highlights of the article to highlight the importance of work, the problem was resolved, and so on.; Not repeat the summary and conclusion. A "discussion" may contain self-critical, and suggest practical uses and future work (complementary or in line with the theme of the research described above).

Acknowledgments

Use a single header for all awards. Avoid expressions such as "One of the authors wishes to thank ..." best type "Such author thanks ...."

Appendices

Appendices, if necessary, go after the awards.

REFERENCES

[1] Paternal and maternal surnames of the author, Name´s initial letter(s). Paternal and maternal surnames of the author, Name´s initial letter(s). Paternal and maternal surnames of the author, Name´s initial letter(s). Title of book. Edition. Year. Editorial. City. Number of pages.

[2] Author's surname, name initials. "Article Title." *Title of the magazine*. Volume (No.) (Example: Vol 3 (5). Year (exact date of publication, month and day). Pages is described in which part of the article (eg, pp. 131-139).
[3] Author's Last Name, First name initial. Year (Exact date of the visit). *Electronic address of the website*.
[4] Paternal and maternal surnames of the author, Initial (s) name. Year or date. *Personal communication.*

LÍMITE DE LA EXTENSIÓN DEL TRABAJO
(En página siguiente continúa otro trabajo)

4to Congreso Internacional de Ingenierías Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Mecatrónica y Computacional
27 al 29 de Septiembre de 2011. Querétaro, Qro.
Trabajo arbitrado No. 110. Volumen 4(1). 9 páginas.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO DE RESISTENCIA METÁLICA HASTA 700°C

Adrián Cruz Alavés, Carlos Alberto Rivera Salamanca, Isaías Hernández Pérez, Homero Jiménez Rabiela

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA-UNIDAD AZCAPOTZALCO
Av. San Pablo 180. Col. Reynosa Tamaulipas. Delegación Azcapotzalco. C.P. 02200 México D.F.
Tel. 5318 9049 E-mail: rsca@correo.azc.uam.mx

Área temática: *Ingeniería Eléctrica*

INTRODUCCIÓN

Esta es una propuesta para el diseño del cartel a presentarse en CIMEEM2011. La impresión del cartel debe ser en tamaño A0 (849mmx 1180mm). Se presenta el diseño y construcción de un horno eléctrico de resistencia metálica cuyo objetivo principal es alojar un reactor tubular en donde pasa una mezcla de gases para realizar reacciones químicas en las cuales se requieren temperaturas hasta 700 ºC. La motivación principal es el alto costo al solicitarse a empresas nacionales. En un horno eléctrico de resistencias, las piezas se calientan por encima de la temperatura ambiente, consta de una caja refractaria aislada en la que se produce calor. El calentamiento de las piezas por resistencias eléctricas es directo adecuado para la aplicación [1,2].

METODOLOGÍA

Las resistencias se comportan como una carga eléctrica lineal y se calientan por efecto joule debido al paso de la corriente por el alambre o cinta de aleación en espiral (helicoidal) a fin de puedan desarrollar la máxima longitud en un mínimo espacio y ceden calor a la carga por las diversas formas de transmisión de calor; las relaciones entre la tensión, la intensidad, la potencia, y la resistencia eléctrica a temperatura ambiente se deducen de la ley de ohm, los parámetros, los símbolos, las ecuaciones y las unidades, se hacen cálculos en base a ecuaciones, constantes y tablas para obtener los valores se presentan en la Tabla 1. [3,4,5] La resistencia es del tipo kanthal A1 diseñada para temperaturas mayores a 800 ºC, con un punto de fusión de 1350ºC [5].

Tabla 1. Parámetros de diseño del Horno de Resistencias

Parámetro	Símbolo	Valor	Ecuación	Unidad
Constante de calor		0.00024		Calorías
Calor	Q		$Q=0.00024I^2RtK$	Calorías
	K	0.864		
Tiempo	t	1		s
Potencia real	P	0.576		kw
Temperatura del horno	T_H	700		ºC
Temperatura exterior	T_E	20		ºC
Voltaje de alimentación	V	120		v
Resistencia	R	25	$R=V^2/P$	Ω
Resistencia a 20 ºC.	$R_{20°C}$	24.31	$R_{20°C}=R/C_1$	Ω
Corriente	I	4.93	I=V/R	A
Constante del alambre	C_t	1.028	Tabla 3 [5]	
Calibre del alambre	d	0.81	Tabla4 [5]	mm
Longitud total alambre	L	13.17	$L=R_{20°C}/\rho$	m
Resistividad del alambre	ρ	1.8460	tabla 5 [5]	Ω/m
Área del alambre	A_R	335.11	cm^2	
Diámetro de la espira	D	4.86	D=6d	mm
Factor disipación alambre	P_A	2.25	$P_A=P/A_g$	w/cm^2
Número de espiras	N_{esp}	862	$N_{esp}=L/\pi D$	espiras
Longitud mínima tramo	L_D	69.8	$L_D= N_{esp}\ d$	cm
Área interior	A_1	32.5		cm^2
Área exterior	A_2	65	$A_2 \leq 2\ A_1$	cm^2

El núcleo refractario es la pared del horno en la cual se encuentra alojada la resistencia eléctrica. El material debe cumplir con las siguientes propiedades: resistencia alta al choque térmico, alta conductividad térmica, alta temperatura de fusión, bajo coeficiente de expansión térmica y baja conductividad eléctrica. Los materiales refractarios se utilizan para construir las paredes, soleras y bóvedas de los hornos, dependiendo del tipo de horno e incluso de la zona del mismo. Las dimensiones de cada ladrillo que se muestran en la Fig. 1.

La carcasa está constituida por lámina perforada para permitir el paso de aire y evitar que se caliente; además de cumplir con la función de protección, para el cuidado de sus componentes.

Los sistemas de control son dispositivos que permiten prender y apagar el horno, controlar y monitorear la temperatura se instala un termopar de tipo K el cual soporta y registra temperaturas mayores a 1000°C.

El Horno se somete a diferentes pruebas térmicas para verificar su funcionamiento iniciando a 25°C incrementando la temperatura de 50°C una vez estabilizada cada temperatura. La evaluación del funcionamiento del horno eléctrico se llevó a cabo en el laboratorio de Catálisis en el edificio O, con una rampa de temperatura de 25°C por minuto, iniciando a temperatura ambiente hasta 800°C. se usa un relevador eléctrico y un controlador de temperatura, las resistencias se calentaron cambiando de color oscuro a rojo. En la Fig. 2 se muestra el horno terminado.

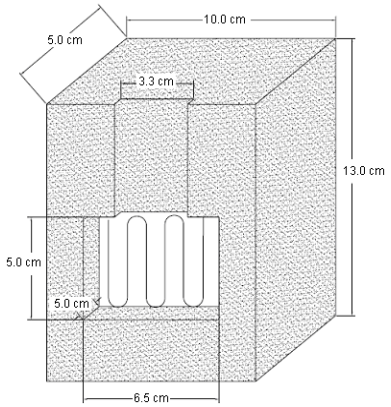


Fig. 1. Diseño de la pared interna del ladrillo refractario

Fig. 2. Apariencia externa final del horno de resistencia metálica

CONCLUSIONES

El horno de resistencia aprovecha al máximo la capacidad de fusión de metales y aleaciones en condiciones más rigurosas, su temperatura se puede regular con gran precisión.

Entre las aplicaciones metalúrgicas de este tipo de horno se encuentran la fusión y mantenimiento de metales, generalmente de bajo punto de fusión (Al, Pb, Zn, Sn, Cu, etc.) y el tratamiento térmico de metales. Y como en este caso alojar un reactor tubular en donde pasa una mezcla de gases que reaccionan a altas temperaturas

Al final de la evaluación del funcionamiento del horno se detecto que las tapas de aluminio se calentaban demasiado dañando un componente de plástico que tiene una de las tapas, para solucionar este problema en las caras exteriores de los ladrillos refractarios, se cubrieron con una cubierta de fibra de vidrio.

Referencias

1. Ordoñez S. "Técnicas Experimentales en Metalurgia". Depto. de Ingeniería Metalúrgica - Universidad de Santiago de Chile. http://www.metalurgiausach.cl/TECNICAS%20EXPERIMENTALES/UNID8.pdf
2. Universidad de Buenos Aires. "Hornos Industriales". http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/15_Apunte%20HornosIndustriales.pdf
3. Salas Calderón P., Dill´Erva Hernández F., Romero Conde R., Rivera Bustamante G., "Hornos Eléctricos". http://www.slideshare.net/paulsalascalderon18/horno-elctricos-fame
4. Oviedo F. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2006, http://www.slideshare.net/filostrato/capitulo-vii-hornos
5. De Ita de la Torre A., Vázquez Briseño L. "Cálculo, diseño y construcción de un horno eléctrico de resistencia" Universidad Autónoma Metropolitana, México. 2004.

4° Congreso Internacional de Ingenierías Mecánica, Eléctrica, Electrónica y Mecatrónica (CIMEEM2011)

27 al 29 de Septiembre de 2011. Querétaro, Qro., México

EVALUACIÓN DE TRABAJOS

No. de Trabajo: ___________________

Título del Trabajo: ____

____

Favor de marcar con una cruz el nivel correspondiente de acuerdo a su evaluación del trabajo:

Área de ingeniería a la que corresponde el trabajo:

( ) Mecánica ( ) Eléctrica ( ) Electrónica ( ) Mecatrónica ( ) S. Computacionales

	Concepto	No suficiente	Suficiente	Bueno	Excelente
1	Apego al formato	( ) 0.5	( ) 0.6	( ) 0.8	( ) 1.0
2	Aportación original a la ingeniería	( ) 0.5	( ) 0.6	( ) 0.8	( ) 1.0
3	Estructura del trabajo	( ) 0.5	( ) 0.6	( ) 0.8	( ) 1.0
4	Extensión del trabajo (páginas)	( ) <6 (0.5)	( ) 6 (0.6)	( ) 7 (0.8)	( ) 8 (1.0)
5	Claridad en la redacción	( ) 0.2	( ) 0.3	( ) 0.4	( ) 0.5
6	Ortografía: errores	( ) >5 (0.2)	( ) 5 (0.3)	( ) 3 (0.4)	( ) 0 (0.5)
7	Redacción y explicación de Ecuaciones	( ) 0.2	( ) 0.3	( ) 0.4	( ) 0.5
8	Explicación de tablas y gráficas	( ) 0.2	( ) 0.3	( ) 0.4	( ) 0.5
9	Citas bibliográficas	( ) <4 (0.2)	( ) 4-6 (0.3)	( ) 7-8 (0.4)	( ) >8 (0.5)

Información adicional

		No	Si
10	¿El artículo corresponde a un proyecto de investigación financiado?	( ) 0	( ) 0.5
11	¿El trabajo tiene aplicación tecnológica?	( ) 1.0	( ) 2.0
12	¿En el trabajo se aplicó algún otro software diferente al Word?	( ) 0.5	( ) 1.0
		Total de puntos	

MI **RECOMENDACIÓN ES LA SIGUIENTE:**

( ) El artículo debe presentarse en el congreso y publicarse en las memorias.

( ) La presentación y publicación del trabajo debe condicionarse a que el autor atienda los comentarios (ver anexo).

( ) El trabajo no debe aceptarse debido a que: ____

____

____

NOTA: No se aceptan revisiones sin comentarios del revisor.

- -

Folio: _________ Título del trabajo: ____

Nombre y firma del revisor: ____

Fecha: ____________________

Es compromiso del Comité Organizador, guardar la confidencialidad de esta evaluación, la cual se enviará a los autores sin esta sección.

4° Congreso Internacional de Ingenierías Mecánica, Eléctrica, Electrónica y Mecatrónica (CIMEEM2011)

27 al 29 de Septiembre de 2011. Querétaro, Qro., México

EVALUACIÓN DE TRABAJOS

Comentarios al trabajo No:

2.4. LISTA DE ARBITROS DE TRABAJOS

No.	**Apellido**	**Nombre**	**Institución**	**País**
1	Acevedo	Elena	Instituto Politécnico Nacional	México
2	Aceves Fernandez	Marco	Universidad Autónoma de Querétaro	México
3	Aguilar	Luis	Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital del IPN (CITEDI-IPN)	México
4	Angeles	Maria Del Pilar	Universidad Nacional Autónoma de México	México
5	Antezana López	Javier	Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Buenos Aires.	**Argentina**
6	Arguelles	Amadeo	CIC - IPN	México
7	Arroyo	Gustavo	Instituto de Investigaciones Eléctricas	México
8	Barrón-Cano	Olivia M.	Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey	México
9	Beltrán Carbajal	Francisco	Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco	México
10	Brena	Ramon	Tecnológico de Monterrey	México
11	Castillo Cabrera	Gelacio	Instituto Politécnico Nacional	México
12	Chavarría Báez	Lorena	ESCOM - IPN	México
13	Chicojay Coloma	Carlos-Anibal	**Universidad de San Carlos de Guatemala**	**Guatemala**
14	Conde	Arturo	Universidad Autónoma de Nuevo León	México
15	Cruz	Laura	Instituto Tecnologico de Cd. Madero	México
16	De La Fraga	Luis Gerardo	Cinvestav. Department of Computing	México
17	Douda	Janna	SEPI - UPIITA - IPN	México
18	Enriquez Caldera	Rogerio	Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica	México
19	Felipe-Riveron	Edgardo	CIC - IPN	México
20	Garrido	Leonardo	Centro de Computación Inteligente y Robótica. Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey	México
21	Gelbukh	Alexander	CIC - IPN	México
22	Gutierrez de Anda	Miguel Angel	Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica	México
23	Gutiérrez Torres	Claudia del Carmen	Instituto Politécnico Nacional	México
24	Hasimoto	Rogelio	Centro de Investigación en Matemáticas	México
25	Jara Velasquez	Wilmer Arturo	**Universidad Nacional "San Luis Gonzaga" de ICA Perú**	**Perú**
26	Jovanovic Dolecek	Gordana	Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica	México
27	Juárez Gracia	Antonio Gustavo	Instituto Politécnico Nacional	México
28	Ledeneva	Yulia	Universidad Autónoma del Estado de México	México

2.4. LISTA DE ARBITROS DE TRABAJOS

No.	**Apellido**	**Nombre**	**Institución**	**País**
29	Monroy	Raul	Tecnológico de Monterrey, Campus estado de México	México
30	Montes	Fernando	Universidad Veracruzana	México
31	Nakano	Mariko	Instituto Politécnico Nacional	México
32	Panomaryov	Volodymyr	Instituto Politécnico Nacional	México
33	Pérez Moreno	Romy	Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco	México
34	Sanchez	Antonio	**Texas Christian University (TCU)**	**Estados Unidos**
35	Sanz	M. Teresa	Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)	México
36	Schaeffer	Elisa	Universidad Autónoma de Nuevo León	México
37	Schuetze	Oliver	CINVESTAV-IPN	México
38	Tlelo-Cuautle	Esteban	Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica	México
39	Vázquez Arreguín	Roberto	Instituto Politécnico Nacional	México
40	Zaldivar	Ignacio	Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica	México

3.1.1. TRABAJOS DEL EXTRANJERO						
No	**SUB-EC**	**TITULO**	**AUTORES**	**PÁGINA**	**INGENIERÍA**	**PAIS DE PROCEDENCIA**
1	56	TÉCNICA PARA CONSTRUIR MOLDES DE PLÁSTICO.	NAOYUKI NAOYUKI	129	MECÁNICA	JAPÓN
2	83	DOUBLE ECOLOGIC FUEL	ZBIGNIEW KIERNICKI	197	MECÁNICA	POLONIA
3	86	EL ESTADO DEL ARTE DE LOS ENGRANAJES EN BUENOS AIRES. CONFERENCIA MAGISTRAL	JAVIER ANTEZANA LOPEZ	205	MECÁNICA	ARGENTINA
4	88	SISTEMA DE CONTROL SUPERVISORIO BASADO EN INTOUCH–FUZZYTECH PARA CÁMARAS DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS	DURVVIN ALEXIS ROZO IBAÑEZ, ALDO PARDO GARCIA AND JORGE LUIS DIAZ RODRIGUEZ	213	MECÁNICA	COLOMBIA
5	101	REGULACION AUTOMATICA DEL SISTEMA DE ALIMENTACION DE BIOGAS DE UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA	JUAN GUILLERMO LIRA CACHO AND ALEX CONTRERAS PAREDES	253	MECÁNICA	PERÚ
6	108	PROPUESTA DE MEDIDAS PARA AUMENTO DE PRODUCCIÓN Y AHORRO ENERGÉTICO EN UNA PLANTA DE DIÓXIDO DE CARBONO	MANUEL RAÚL SUMARIA MONTES AND FREDDY J. ROJAS CHÁVEZ	269	MECÁNICA	PERÚ
7	109	UN METODO PARA EL DISEÑO OPTIMO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE GNV DE MOTORES AUTOMOTRICES DE ENCENDIDO POR CHISPA	JUAN GUILLERMO LIRA CACHO	279	MECÁNICA	PERÚ
8	97	MAINTENANCE AND RELIABILITY OF ENGINE ELECTRICAL EQUIPMENT	MIECZYSLAW DZIUBINSKI	351	ELÉCTRICA	POLONIA
9	66	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA A TRAVÉS DE LAS VARIBLES DE PH, CONDUCTIVIDAD, TEMPERATURA Y OXIGENO DISUELTO	JACIPT ALEXANDER RAMON VALENCIA, DURVVIN ALEXIS ROZO IBAÑEZ AND REINALDO ALMARIO OSPINO	441	ELECTRÓNICA	COLOMBIA
10	74	DISEÑO DE UN CONVERTIDOR DE TERCER ORDEN USANDO UN SOLO AMPLIFICADOR OPERACIONAL	ALDO PEÑA	469	ELECTRÓNICA	ITALIA
11	105	AUTOMATIZACIÓN DE LA MEDICIÓN DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	VÍCTOR AGÜERO ZAMORA AND JUAN GUILLERMO LIRA CACHO	477	ELECTRÓNICA	PERU
12	75	CONTROL INTELIGENTE PARA UN SISTEMA HIBRIDO DE ENERGIA	KELVIN DE JESUS BELEÑO SAENZ, ALDO PARDO GARCIA, IVALDO TORRES CHAVEZ AND CARLOS GABRIEL DIAZ SAENZ	547	MECATRÓNICA	COLOMBIA
13	71	PROPOSAL FOR ACCREDITATION OF THE SUBJECT CONTROL SYSTEMS IN ENGINEERING AT BACHELOR LEVEL IN THE EUROPEAN QUALIFICATION FRAMEWORK (EQF)	TSIRIGOTIS GEORGIOS AND ANNA FRIESEL	739	ENSEÑANZA	GRECIA

3.1.2.1 TRABAJOS DE INGENIERIA MECANICA (MEC) 1/2

No	SUB-EC	TITULO	AUTORES	Página
1	1	COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNIONES SOLDADAS DE TI-6AL-4V CON DAÑO PREVIO POR FATIGA.	IVAN LEON, CARLOS RUBIO AND VICTOR SANCHEZ	1
2	3	SISTEMA AUTOMÁTICO DE LLENADO DE LÍQUIDOS	LUIS VERDUZCO, MARTHA PAYAN AND LUIS URIARTE	9
3	5	MECHANICAL PROPERTIES OF STEELS TOOL GRADE HARDENING SUPERFICIALLY	NOE LOPEZ PERRUSQUIA, MARCO ANTONIO DOÑU, DAVID HUITRON SANCHEZ, FRUMENCIO VASQUEZ RAMÍREZ AND DAVID LEONCIO CRUZ ROSADO	15
4	6	MANUFACTURA DE UN MODELO ARQUITECTÓNICO DE ALUMINIO	NOE LOPEZ PERRUSQUIA, MARCO ANTONIO DOÑU, VÍCTOR JORGE CORTEZ SUAREZ, BENJAMÍN LÓPEZ SALAZAR, IVÁN HERNÁNDEZ CASTRO, LUIS OMAR MURATALLA ARREOLA AND ALEJANDRA CAMARILLO VILLEGAS	21
5	7	EFFECTS OF FRICTIONAL RELATIVE HEAT GENERATED DURING FRICTION-STIR WELDING ON INTERNAL DEFECTS AND MECHANICAL STRENGTH OF AA 7075-T651 ALUMINUM JOINTS.	LUIS LOPEZ JIMENEZ, IVÁN DOMINGUEZ LOPEZ AND ADRIÁN GARCIA GARCIA	27
6	13	INSTRUMENTACION DE UNA TRANSMISION INFINITAMENTE VARIABLE	CUAUHTEMOC MORALES-CRUZ, ROSAURA ANAID SUAREZ-SANTILLAN, PAUL OCTAVIO GOMEZ-CASTRO, ANDRES FELIPE SANCHEZ-CRISTO AND EDGAR ALFREDO PORTILLA-FLORES	33
7	16	CARACTERIZACIÓN Y FLUJO DE INFORMACIÓN ENTRE ESTACIONES DE UN SISTEMA FLEXIBLE DE MANUFACTURA	ANGEL MIGUEL GONZÁLEZ MEDINA, OLLIN PEÑALOZA, ARMANDO MARTÍNEZ, ALMA DELIA RODRÍGUEZ AND JESÚS GONZÁLEZ	41
8	27	MODELO BIOMECÁNICO VIRTUAL DE MIEMBROS TORÁCICOS DE 17 GRADOS DE LIBERTAD USANDO UNIDADES DE MEDIDA INERCIAL	FRANCISCO VERNAL YESCAS, IVETT QUIÑONES URIÓSTEGUI, JOSÉ ANTONIO TOVAR SANDOVAL AND EVARISTO VELA PEÑA	49
9	28	DESARROLLO DE UN ERGÓMETRO PARA EL ANÁLISIS DEL MOVIMENTO DE LA PROPULSIÓN EN SILLA DE RUEDAS	JOSÉ ANTONIO TOVAL SANDOVAL, IVETT QUIÑONES URIÓSTEGUI, FRANCISCO BERNAL YESCAS AND EVARISTO VELA PEÑA	57
10	32	MANUFACTURA DE BANCAS DE JARDIN POR FUNDICIÓN DE ALUMINIO	MARCO ANTONIO DOÑU RUIZ, NOE LOPEZ PERRUSQUIA, YAZMIN RESENDIZ SOLIS, VICTOR CORTEZ CORTEZ SUAREZ, JOSE DAVID VILLEGAS CARDENAS AND DAVID SANCHEZ HUITRON	65
11	38	OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO CON MATERIA PRIMA RECICLADA Y SU EVALUACIÓN CON EL ENSAYO DE IMPACTO	JESÚS GONZÁLEZ, ARTURO BARBA AND MARCOS SANTILLAN	71
12	39	LAS MATEMATICAS EN LA GENERACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS CON PRODUCTOS RECICLADOS	JESÚS GONZÁLEZ, RODRIGO NAVARRETE AND MANUEL RAMÍREZ	79
13	40	PROPUESTA EN LA INTEGRACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE UN HUERTO EN EL DISTRITO FEDERAL	JESUS GONZÁLEZ, ELIZABETH FLORES AND JOSUE VILLEGAS	87
14	42	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA CARACTERIZACIÓN BIOMECÁNICA DE TEJIDO DE RES.	JUAN-CARLOS GUERRERO-CARMONA, GABRIEL SEPÚLVEDA-CERVANTES AND OMAR-ARTURO DOMÍNGUEZ-RAMÍREZ	97
15	52	TRANSPORTE AUTOMATIZADO PARA EL EMPAQUE DE PAÑAL	IVONE TORRES, PEDRO HUERTA AND ANTONIO OBREGÓN	105
16	53	PROTOTIPO DE BASE PARA LA OBTENCION DE ESFUERZOS EN MATERIAL BIOLOGICO CON DISMINUCION DE CALCIO PREVIAMENTE SOMETIDO A RADIACION ELECTROMAGNETICA	MARÍA DE LOURDES CORTÉS IBARRA, JOSÉ ANTONIO MONDRAGÓN HERRERA,FERNANDO NAVARRO GIL, CARLOS EDUARDO RODRÍGUEZ LEÓN, ADRIANA SARAHI RODRÍGUEZ GASCA AND JOVANNI SALAZAR PERALTA	115
17	54	DESARROLLO DE UN REMOVEDOR PARA LA PLANTA PRODUCTORA DE COMPOSTA	PEDRO HUERTA, IVONE TORRES AND ZOSIMO BAUTISTA	119
18	57	DESARROLLO TECNOLÓGICO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA TRANSMISIÓN DE UN MINITRACTOR AGRÍCOLA	ABRAHAM RODRIGUEZ GALEOTTE AND JUAN ROBERTO RODRIGUEZ BELLO	131

3.1.2.1 TRABAJOS DE INGENIERIA MECANICA (MEC) 2/2				
No	**SUB-EC**	**TITULO**	**AUTORES**	**Página**
19	58	CALCULO DE LA TEMPERATURA ADIABATICA DE LA COMBUSTION REAL SIMULADA	DAVID CASTILLO MEJÍA, JOSÉ ÁNGEL DÁVILA GÓMEZ AND ZEFERINO DAMIÁN NORIEGA	139
20	59	PROTOTIPO AUTOMATIZADO PARA RECICLAR PET (POLIETILEN TEREFTALATO)	CÉSAR VÍCTOR FERIA REYES, ABRAHAM RODRÍGUEZ GALEOTTE AND JUAN ROBERTO RODRÍGUEZ BELLO	147
21	67	CONCEPTO DE UN DISPOSITIVO PARA ENSAYOS DE IMPACTO DE BAJA VELOCIDAD Y PRECARGA EN TENSIÓN SOBRE PROBETAS PLACA DE MATERIAL COMPUESTO	VICTOR MANUEL DELGADO ROMERO, HILARIO HERNANDEZ MORENO, PEDRO ALEJANDRO TAMAYO MEZA AND ULISES REYES ZAMORA	157
22	73	SIMULACIÓN DE SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE (SMF) MEDIANTE REDES DE PETRI COLOREADAS	PAULO SERGIO CORNEJO GUERRA	165
23	78	MÉTODOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS DE CONTACTO MECÁNICO	RITA AGUILAR OSORIO, CÉSAR ADOLFO ORTEGA VIVAS AND GERARDO LÓPEZ RAMÍREZ	173
24	80	CARACTERIZACION DE UN ESLABON DE ARRASTRE DE CAMION FABRICADO AL VACIADO POR GRAVEDAD	MARTÍN D. CASTILLO SÁNCHEZ, JÉSUS GARCÍA LIRA AND SALVADOR AYALA	179
25	81	MAQUINA ENSAMBLADORA DE GRAPA PARA CABLE	ABRAHAM RODRÍGUEZ, MARTÍN CASTILLO, VÍCTOR FERIA, SALVADOR AYALA AND JESÚS GARCÍA	185
26	82	ANALISIS DE ESFUERZOS RESIDUALES POR EL MÉTODO DE ELEMENTO FINITO EN UNA SOLDADURA DE ACERO INOXIDABLE	JESÚS GARCÍA, MARTÍN CASTILLO, SALVADOR AYALA AND ABRAHAM RODRÍGUEZ	191
27	89	DIMENSIONAMIENTO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBO Y CORAZA	RITA AGUILAR OSORIO, CÉSAR ADOLFO ORTEGA VIVAS AND EDUARDO OLIVA LÓPEZ	223
28	93	ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA INTRODUCCIÓN DE AUTOBUSES HÍBRIDOS EN LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO PÚBLICO DE TRANSPORTE DE PASAJEROS EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO	JOSÉ JUAN MARTÍNEZ NANTES, AHMED ZEKKOUR ZEKKOUR, CARLOS ALBERTO RIVERA SALAMANCA, GERARDO ALTAMIRANO LEÓN AND SERGIO HÉCTOR BARREIRO TORRES	229
29	95	COCINAS SOLARES DE INTERIOR	MANUEL GORDON SÁNCHEZ, GERALDINE LÓPEZ GANEM, HILARIO TERRÉS PEÑA AND JOSÉ CONTRERAS LARIOS	239
30	96	DISPOSITIVOS SOLARES PARA LA INCUBACIÓN DE HUEVOS	MANUEL GORDON SÁNCHEZ, JOSÉ CONTRERAS LARIOS AND HILARIO TERRÉS PEÑA	245
31	103	PLASMA Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA AEROESPACIAL	HILARIO DE JESÚS ALCÁNTARA, FRANCISCO JAVIER PITA MARTÍNEZ AND RAÚL RAMÍREZ LÓPEZ	263
32	110	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO DE RESISTENCIA METÁLICA HASTA 700ºC	ADRIÁN CRUZ ALAVÉS, CARLOS ALBERTO RIVERA SALAMANCA, ISAÍAS HERNÁNDEZ PÉREZ AND HOMERO JIMÉNEZ RABIELA	293
33	111	SIMULACIÓN DE GRANDES REMOLINOS DEL FLUJO EXTERNO SOBRE UN CILINDRO A UN ALTO NÚMERO DE REYNOLDS	ALEJANDRO ALONZO GARCÍA, CLAUDIA DEL CARMEN GUTIÉRREZ TORRES, JOSÉ A. JIMÉNEZ BERNAL AND JOSÉ LUIS LÓPEZ AGUADO MONTES	303
34	113	COCINA SOLAR BAJO TECHO	ARELI ARCOS PICHARDO, JORGE PINEDA PIÑÓN, MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ ROMÁN	313
35	117	EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES EN UN DESTILADOR SOLAR TIPO CASETA	JORGE F. RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, M. BERENICE G. QUINTANA, FERNANDO TOLEDO TOLEDO, VICENTE AYADA AHUMADA	319

3.1.2.2 TRABAJOS DE INGENIERÍA ELÉCTRICA (ELE)				
NO	**SUB-EC**	**TITULO**	**AUTORES**	**PÁGINA**
1	61	SISTEMA PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DOMÉSTICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA. APLICACIÓN DE LA ECONOMÍA DEL COMPORTAMIENTO.	ARMANDO MORA CAMPOS, LEONARDO RIVERA VELÁZQUEZ, HERNANDO CHAGOLLA GAONA AND RODRIGO RODRÍGUEZ RUBIO	327
2	87	ESTRATEGIAS DE AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE RIEGO DE CULTIVOS CON AGUAS RESIDUALES (EL CASO DE TELTIPÁN DE JUÁREZ, ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO)	VICENTE AYALA AHUMADA, JOSÉ DOLORES JUÁREZ CERVANTES, FERNANDO TOLEDO TOLEDO, JOSÉ MANUEL RODRÍGUEZ GUERRERO AND VÍCTOR M. FLORES ALTAMIRANO	335
3	94	IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS DE SEGURIDAD EN EL MEDIO INDUSTRIAL	FERNANDO TOLEDO TOLEDO, MARÍA BERENICE GUADALUPE QUINTANA DÍAZ, VICENTE AYALA AHUMADA AND JOSÉ DOLORES JUÁREZ CERVANTES	343

3.1.2.3. TRABAJOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA (ELO)				
NO	**SUB-EC**	**ARTICULO**	**AUTORES**	**PÁGINA**
1	17	DESEMPEÑO DEL PROTOCOLO AODV-CDMA PARA REDES DE AD-HOC	ALDO L. MENDEZ-PEREZ, ROBERTO CASTILLO-FERNANDEZ, MARCO A. PANDURO-MENDOZA, MANUEL MUNGUIA-MACARIO AND HERNANDO CHAGOLLA-GAONA	359
2	19	DISEÑO CONCEPTUAL MEMS APLICADO A LA DETECCIÓN DE FUGAS DE CAMPO MAGNÉTICO	CESAR ALONSO GUTIERREZ, HUGO GAMEZ AND ALFONSO GOMEZ	365
3	21	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE UN CONTROLADOR PID WAVELET	HOMERO ROLDÁN RUBIO, BENJAMÍN ALFONSO ITZÁ ORTIZ AND LUIS ENRIQUE RAMOS VELASCO	375
4	30	ESTUDIO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN HUESO DESCALCIFICADO, COMO MÉTODO DE VALIDACIÓN PARA LA ESTIMULACIÓN DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.	MARIA DE LOURDES CORTÈS IBARRA, JOSÈ ANTONIO MONDRAGÒN HERRERA,JOVANNI SALAZAR PERALTA, FERNANDO NAVARRO GIL AND ADRIANA SARAHI RODRÌGUEZ GASCA	381
5	36	SISTEMA ELECTRONICO DE CARACTERIZACIÓN ÓPTICA PARA DISPOSITIVOS ELECTROCROMICOS	JORGE LUIS RODRÍGUEZ TORALES, EDUARDO MORALES SÁNCHEZ AND MÓNICA VIDALES HURTADO	385
6	45	TRES TOPOLOGÍAS ELECTRÓNICAS DEL MAPEO CASA DE CAMPAÑA	ISAAC CAMPOS, CÉSAR JIMÉNEZ AND ERNESTO VELASCO	393
7	47	INVERSOR DE INYECCIÓN A RED A PARTIR DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES CON FILTRO DE SALIDA LCL	OSCAR CARRANZA CASTILLO, EMILIO FIGUERES AMOROS, GABRIEL GARCERA SANFELIU AND RUBEN ORTEGA GONZALEZ	399
8	48	DISEÑO DE UN CONTROLADOR REPETITIVO PARA REDUCCIÓN DE THDV EN UN INVERSOR MONOFÁSICO PARA MICRORREDES	RUBEN ORTEGA GONZALEZ, EMILIO FIGUERES AMOROS, GABRIEL GARCERA SANFELIU AND OSCAR CARRANZA CASTILLO	409
9	50	BEATING JPEG2000: INTRODUCTION OF THE HI-SET IMAGE CODER	JESÚS JAIME MORENO ESCOBAR	417
10	51	LOCK-IN AMPLIFIER FOR DETECTION OF LASER LIGHT	ADRIANA M. DEL-CARMEN, IVÁN DOMÍNGUEZ-LÓPEZ, ADRIÁN L. GARCÍA-GARCÍA AND RUBÉN VÁZQUEZ-MEDINA	425
11	60	EL AJUSTE DE CONTROLADORES PID: UNA APROXIMACIÓN MEDIANTE ALGORITMOS INMUNOLÓGICOS	JUAN FERNANDO GARCÍA MEJÍA, JOSÉ ANTONIO GARCÍA MEJÍA AND CARLOS EDUARDO TORRES REYES	433
12	63	SISTEMA LÁSER PARA EVALUAR LA UNIFORMIDAD DE ACABADO SUPERFICIAL DE MATERIALES DE INGENIERÍA.	IVÁN DOMÍNGUEZ-LÓPEZ, ADRIAN GARCIA, BRUNO LÓPEZ AND MIGUEL A. RAMÍREZ-HERNÁNDEZ	439
13	69	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN CONTROLADOR NEURONAL MULTIVARIABLE	AGUSTIN BARRERA, ESTELA PEREZ, ALFONSO NORIEGA, HERNANDO CHAGOLLA, JORGE ORTEGA AND EDUARDO MORALES	449
14	70	ARQUITECTURA DE FORMACIÓN DE HAZ MATRIZ BUTLER PARA SISTEMAS DE COMUNICACIONES SATELITALES	CHRISTIAN RUEDA, ALEJANDRO ITURRI AND CIRILO LEON	457
15	72	DISEÑO DE UN PROCESADOR EN VHDL	HERNANDO CHAGOLLA	463
16	76	PROPUESTA DE DISEÑO DE UN INSTRUMENTO DE MEDIDA DEL ÁNGULO DE ATAQUE EN AERONAVES BASADO EN EL COMPORTAMIENTO AERODINÁMICO DE SUPERFICIES SUSTENTADORAS EMPLEANDO DISPOSITIVOS DE TECNOLOGÍA LÓGICA TRANSISTOR-TRANSISTOR	MARTHA GARCÍA AND BERNARDO QUINTANILLA	471

3.1.2.4 TRABAJOS INGENIERÍA MECATRÓNICA (MET)

NO	SUB-EC	TÍTULO DEL TRABAJO	AUTORES	PÁGINA
1	4	DISEÑO DE UNA LEY DE CONTROL POR PLANITUD DIFERENCIAL PARA EL ARRANQUE SUAVE DE UN MOTOR DE CD ALIMENTADO CON UN CONVERTIDOR BUCK	HÉCTOR JAVIER SÁNCHEZ LÓPEZ, RAMÓN SILVA ORTIGOZA, BERNARDO HERNÁNDEZ ALVARADO AND JESÚS GIRÓN REYES	485
2	14	CAMINATA EN UN ROBOT BIPEDO HUMANOIDE	ALEJANDRO GARCIA MIRANDA AND EDUARDO MORALES SÁNCHEZ	495
3	22	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA EXPERTO BASADO EN LÓGICA DIFUSA PARA EL CONTROL DE UN SISTEMA MIMO	JORGE ORTEGA MOODY, EDUARDO MORALES SÁNCHEZ, ESTELA PÉREZ RESENDIZ, AGUSTÍN BARRERA NAVARRO AND MAXIMIANO RUIZ TORRES	503
4	25	CONTROL DE UN ROBOT MANIPULADOR VIRTUAL, UTILIZANDO UNA INTERFAZ CEREBRO-COMPUTADORA	NEYLI-HAN MONTAÑO MARTÍNEZ, GABRIEL SEPULVEDA-CERVANTES AND MARCO ANTONIO ROMÁN PÉREZ	509
5	33	INSTRUMENTACION DE UN DEDO ANTROPOMORFICO DE 1-GDL PARA SENSADO DE FUERZA	RAÚL A. DEL RIO ROMERO, ADOLFO GONZALES VILLA, LUIS E. SANTOS HERNÁNDEZ, EDGAR A. PORTILLA FLORES AND OSCAR F. AVILÉS SÁNCHEZ	517
6	34	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT BIPEDO HUMANOIDE	MAYRA HERNANDEZ TORRES, EDUARDO MORALES SANCHEZ AND ALEJANDRO GARCÍA MIRANDA	525
7	49	SISTEMA DE RECONSTRUCCIÓN TRIDIMENSIONAL DE OBJETOS BASADO EN UN SENSOR DE DESPLAZAMIENTO LÁSER	JONNY PAUL ZAVALA DE PAZ, EDUARDO CASTILLO CASTAÑEDA, JAIME DE JESÚS RESÉNDIZ PÉREZ AND ABRAHAM GONZÁLEZ HERNÁNDEZ	531
8	68	CONTRO BASADO EN PLANITUD DIFERENCIAL DE UN SISTEMA DE TRASLACIÓN DE ROBOTS USANDO OBSERVADORES DE PERTURBACIÓN DIFERENCIAL	FRANCISCO BELTRÁN, ZEFERINO DAMIAN, SERGIO A. VILLANUEVA, ROMY PEREZ MORENO AND J. PEDRO A. PUERTA HUERTA	537
9	77	CONTROL NO LINEAL BASADO EN PLANITUD DIFERENCIAL DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN MAGNÉTICA	FRANCISCO BELTRÁN CARBAJAL, BENJAMÍN VÁZQUEZ GONZÁLEZ, ZEFERINO DAMIÁN NORIEGA, SERGIO A. VILLANUEVA PRUNEDA AND ERNESTO MONTES ESTRADA	557
10	100	KAD 1.0 BRAZO ROBÓTICO INDUSTRIAL DE 6 EJES APLICACIÓN AL CORTE DE PLASMA	MARTIN VEGA TERRAZAS, AXELL GARCÍA RAMÍREZ AND ALDO DANIEL RAMÍREZ OLLERVIDES	565
11	106	CONTROL DE ESTABILIDAD DE UN MANIPULADOR PLANAR PARALELO 3RRR UTILIZANDO REDES	MARCOS JESÚS VILLASEÑOR AGUILAR, AGUSTÍN RAMÍREZ AGUNDIS AND JOSÉ ALFREDO PADILLA	571
12	107	DETECTOR DE VIBRACIONES AERO-MECÁNICAS EN UN TÚNEL DE VIENTO	JORGE SANDOVAL LEZAMA, JOSÉ ARTURO CORREA ARREDONDO AND TIBURCIO FERNÁNDEZ ROQUE	581

3.1.2.5 TRABAJOS DE SISTEMAS COMPUTACIONALES (COM)				
NO	**SUB-EC**	**TÍTULO DEL TRABAJO**	**AUTORES**	**PÁGINA**
1	8	DISEÑO DE UN MODELO DE ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS EN RED PARA AMBIENTES EDUCATIVOS.	MARCO ANTONIO HERNANDEZ, FELIPE ROLANDO MENCHACA AND SALVADOR ALVAREZ	587
2	9	MODELO E INFRAESTRUCTURA DE SEGURIDAD BASADO EN IDENTIFICACIÓN Y AUTENTICACIÓN PARA REDES	NORMA ALICIA CRUZ, FELIPE ROLANDO MENCHACA AND SALVADOR ALVAREZ	595
3	10	GENERACIÓN DE PARTITURAS APLICANDO ANÁLISIS ESPECTRAL A PIEZAS MUSICALES	ANA LAURA COLIN PÉREZ, JOSÉ ANTONIO HIJAR MIRANDA, EDGAR ANTONIO MARTÍNEZ GONZÁLEZ, ROMÁN DIVANNI PAMATZ REYES, LORENA CHAVARRÍA-BÁEZ AND JACQUELINE ARZATE GORDILLO	601
4	15	APLICACIÓN DE MODELOS ASOCIATIVOS PARA LA LOCALIZACIÓN SUB-CELULAR DE PROTEÍNAS	JORGE ARROYO, JOSÉ MARTÍNEZ AND ELENA ACEVEDO	609
5	18	CONTROLADOR MODULAR SINTONIZADO CON ALGORITMO GENÉTICO	JORGE JUAREZ, HUGO GAMEZ AND HUGO JIMÉNEZ	617
6	23	DESARROLLO DE UN SIMULADOR DE MANEJO	OSCAR PEREZ, GABRIEL SEPULVEDA AND EDGAR PORTILLA	629
7	24	SIMULADOR 3D PARA CAPACITACION DE MANEJO DE VAGONES DEL TRANSPORTE COLECTIVO METRO	EDGAR BATALLA, GABRIEL SEPULVEDA AND EDGAR PORTILLA	637
8	44	DIAGNÓSTICO DE LA ENFERMEDAD DE PARKINSON MEDIANTE MEMORIAS ASOCIATIVAS	JOSÉ MARTÍNEZ, JORGE ARROYO, ELENA ACEVEDO AND FABIOLA MARTÍNEZ	645
9	64	ESTUDIO DE LA COMPRESIÓN FRACTAL DE IMÁGENES PARA PÁGINAS WEB	HUGO IVAN ASCENCIO MARTÍNEZ, OCTAVIO CLAUDIO RAMÍREZ, JESÚS YALJÁ MONTIEL PÉREZ AND RODOLFO ROMERO HERRERA	653
10	98	PREDICCIÓN DE DEMANDA MÁXIMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA USANDO REDES NEURONALES PARA EDIFICIOS INTELIGENTES	JOSÉ LUIS ROJAS RENTERÍA	659
11	99	SISTEMA PARA HALLAR LA SOLUCIÓN DE ECUACIONES DIFERENCIALES TOTALES EMPLEANDO TRANSFORMADAS DE LAPLACE	MIGUEL OLVERA ALDANA AND MICHEL MARCOS GARCÍA BADILLO	667

3.1.2.6 TRABAJOS DE EDUACIÓN EN INGENIERÍA (EDI)				
NO	**SUB-EC**	**TÍTULO DEL TRABAJO**	**AUTORES**	**PÁGINA**
1	11	DESARROLLO DE COMPETENCIAS EN ALUMNOS DE BACHILLERATO A TRAVÉS DE LA ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO (MÁQUINA AUTOMATIZADA)	BENJAMÍN ROJAS ESLAVA, VICENTE RUPERTO VELÁZQUEZ AND EMILIO CALIXTO GONZÁLEZ	673
2	26	ENANOS Y GIGANTES: SOFTWARE EDUCATIVO COMO APOYO AL DESARROLLO DEL PENSAMIENTO PROPORCIONAL DEL ESTUDIANTE DE PRIMARIA	LEONARDO DANIEL VÁSQUEZ LÓPEZ, LORENA CHAVARRÍA BÁEZ AND ELENA FABIOLA RUIZ LEDESMA	679
3	29	COMO PODER APLICAR LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN (TIC´S) EN LAS CARRERAS DE INGENIERÍA	RICARDO CORTEZ OLIVERA, GERARDO IRVING ARJONA RAMIREZ AND RICARDO SANCHEZ MARTINEZ	687
4	31	SISTEMA DE SUGERENCIAS LITERARIAS BASADO EN ANÁLISIS DE OPINIONES Y PERFIL DEL LECTOR.	LORENA CHAVARRÍA BÁEZ, JAIME JAVIER BAUTISTA NEYRA, LUIS ARTURO SÁNCHEZ DÁVILA AND OCTAVIO ZAPATA MIRAMONTES	693
5	35	APLICACIÓN DE AGENTES TUTORES INTELIGENTES EN LA ENSEÑANZA DE FÍSICA EN EL TEMA: CONVERSIÓN DE UNIDADES FÍSICAS	DANIEL SÁNCHEZ-GUZMÁN AND CLAUDIA ROSADO-GUZMÁN	701
6	41	EMPLEO DE REGISTROS SEMIÓTICOS CON EL USO DE SIMULACIONES EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE CÁLCULO	ELENA FABIOLA RUIZ LEDESMA, ERIKA HERNÁNDEZ RUBIO AND ALEJANDRO OROPEZA LÓPEZ	711
7	43	ESTUDIO DE PLATAFORMAS DIDÁCTICAS PARA LA ENSEÑANZA DE CÓMPUTO MÓVIL	GERARDO MUÑOZ, VÍCTOR HUGO GARCÍA, RUBÉN HERNÁNDEZ AND JULIO CÉSAR SOSA	719
8	62	CIRCUITO ENTRENADOR PARA EL APRENDIZAJE DE FUNDAMENTOS DE DISEÑO DIGITAL	JULIO SOSA, VICTOR GARCIA, GERARDO MUÑOZ AND RUBEN HERNANDEZ	725
9	65	EL CONCEPTO DE VARIACIÓN EN LOS NIVELES DE PRIMARIA Y SUPERIOR EMPLEANDO UNA HOJA ELECTRÓNICA	ELENA FABIOLA RUIZ LEDESMA AND ALEJANDRO OROPEZA LÓPEZ	721
10	91	CONTROL NEURO-PID DE BRAZO ROBÓTICO, CON VISIÓN ARTIFICIAL	FRANCISCO JAVIER PITA MARTÍNEZ	731
11	92	LABORATORIOS DE INGENIERÍA Y MAPAS CONCEPTUALES: UNA EXPERIENCIA DIDÁCTICA	ARACELI LARA VALDIVIA, DAVID SANDOVAL CARDOSO, JUAN R. MORALES GÓMEZ, HILARIO TERRES PEÑA, ARTURO LIZARDI RAMOS, RAYMUNDO LÓPEZ CALLEJAS	739
12	102	LOS AMBIENTES DE APRENDIZAJE Y EL AUTOCONCEPTO	JACQUELINE ARZATE GORDILLO, MARÍA DEL ROSARIO ROCHA BERNABÉ AND ELENA FABIOLA RUÍZ LEDESMA	741
13	115	GESTION DEL CAPITAL INTELECTUAL PARA GENERAL PRODUCTIVIDAD CIENTÍFICA EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR PÚBLICAS	EDUARDO BUSTOS FARÍAS, LUZ DEL CARMEN MORAN BRAVO, SOFÍA ÁLVAREZ CANO, BLANCA ESTELA ALEMÁN NÚÑEZ	757
14	116	ANALISIS CUANTITATIVO Y CUALITATIVO DEL ESTADO DE QUERÉTARO PARA SER UNA CIUDAD DEL CONOCIMIENTO	MARIA DE LOS ANGELES AGUIÑAGA VILLASEÑOR	761

3.1.3. CONFERENCIAS MAGISTRALES					
No	**DÍA**	**HORA**	**TÍTULO DE LA CONFERENCIA**	**CONFERENCISTA**	**PAIS DE PROCEDENCIA**
1	27	10:15 - 11:15	LA VINCULACIÓN DE LAS IES CON LA FORMACIÓN DE LOS PROFESIONALES QUE REQUIERE LA AGENDA DIGITAL NACIONAL	PEDRO SOLARES	MÉXICO
2	27	16:00 - 17:00	EL ESTADO DEL ARTE DE LOS ENGRANAJES EN BUENOS AIRES.	JAVIER ANTEZANA LÓPEZ	UTN-FBA ARGENTINA
3	28	16:00 - 17:00	DOTANDO DE OJOS A LAS COMPUTADORAS	JUAN HUMBERTO SOSSA AZUELA	IPN-CIC MÉXICO
4	29	8:30 - 9:45	SISTEMA DE PRODUCCIÓN JAPONÉS	HITOSHI URAKI	JICA JAPÓN
5	29	12:00 - 13:00	PREPARING ENGINEERING STUDENTS AND ENGINEERS FOR GLOBALIZATION: HOW TO WORK WITH PROJECDDTS IN INTERNATIONAL TEAMS.	ANNA FRIESEL	DINAMARCA

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 01. Volumen 4(1), 8 páginas

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNIONES SOLDADAS DE Ti-6Al-4V CON DAÑO PREVIO POR FATIGA

Ivan Arturo León Méndez[1], Carlos Rubio González[1], Joel Chaparro González[1], Víctor Manuel Sánchez Cabrera[2]

Resumen

Las aleaciones de titanio son normalmente seleccionadas para fabricar componentes o sistemas mecánicos cuyo funcionamiento requiera baja densidad o bajo peso del material, aunado a una alta tenacidad, gran resistencia a tensión y resistencia a la corrosión en una extensa variedad de ambientes. Actualmente existe una amplia gama de componentes que demandan ser fabricados con este material y requieren ser unidos con soldadura por fusión, por lo cual es de gran interés para la ingeniería el comprender el comportamiento mecánico de las uniones de soldadura que nos permita diseñar y fabricar sistemas mecánicos confiables. Este trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento cuasi-estático de uniones de soldadura de la aleación Ti-6Al-4V realizada con el proceso GTAW, previamente sometida a diferentes ciclos de carga para determinar el daño ocasionado y conocer la degradación de sus propiedades mecánicas. El comportamiento cuasi-estático fue estudiado en especímenes con diferentes niveles de daño por fatiga. La respuesta de las uniones soldadas fue comparada con la del material-base, se midió micro-dureza, se analizaron modos de falla para especímenes del material-base y de la unión realizada con el proceso GTAW.
Palabras clave: Titanio, fatiga, reactivo, soldadura por fusión, daño previo.

Summary

Titanium alloys are materials with special physical properties, among which highlights a comparatively with another metallic alloys low density, high toughness, high tensile strength and corrosion resistance. Today, a wide range of components that need to be made of such material and consequently will be joined by fusion welding, making it of great interest for engineering the mechanical behavior of welding joints, which allow us to design and manufacture reliable mechanical systems in service. The welding of titanium alloys has certain complications; the most significant is that the metal is very reactive at high temperature, with the constituent gases of the atmosphere (O, N and H) that are accommodated interstitially in the crystal structure which promotes strong tendency to cracking, so it requires a perfect protection of the welding joint. For this reason this paper aims to induce fatigue damage in titanium welded joints and determine the degradation of its mechanical properties after a certain number of cycles. The quasi-static behavior was studied in specimens with different levels of fatigue damage. The response of the welded joints was compared with the base-material. In addition, micro-hardness was measured and failure modes of specimens of base-material and welded joints were analyzed.
Keywords: Titanium, fatigue, reactive, fusion weld, fatigue damage.

Introducción

El titanio puro tiene una densidad de 4,5 g/cm^3 [1], prácticamente la mitad de la correspondiente a los aceros, es por eso que, algunas aleaciones de titanio son consideradas como una primera opción incluso antes que las aleaciones de aluminio para la fabricación de componentes mecánicos estructurales en la industria aeroespacial. Su temperatura de fusión es de 1668°C [2].

[1] *Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, Pie de la cuesta 702, Desarrollo San Pablo, 76130 Querétaro, Qro. México. Tel 2119800. Correos: ivan_leon@gmx.com, crubio@cidesi.mx, jchaparro@cidesi.mx*

[2] *Universidad Tecnológica de Querétaro, Pie de la Cuesta 2501, Unidad Nacional, 76148. Querétaro, Qro. México. Tel 2096100. E-mail: vsanchez@uteq.edu.mx*

Debido a su evidente afinidad por el oxígeno, las aleaciones de titanio generan una finísima película de óxido a temperatura ambiente, gracias a la cual el titanio es resistente a la corrosión, tanto en ambientes salinos como en contacto con algunas soluciones ácidas. La afinidad del titanio por el oxígeno aumenta gradualmente con la temperatura, al igual que el espesor de la película de óxido, que de ser una tenue y fina capa pasa a convertirse en una capa gruesa. Por encima de los 649ºC [2], la resistencia a la oxidación decrece rápidamente y tanto el titanio como sus aleaciones deben protegerse del aire debido a su posible combinación con el oxígeno. La presencia de este elemento, del nitrógeno y el hidrogeno del aire aumentan la dureza y fragilizan el metal.

La adición de elementos de aleación aumenta la resistencia a la tensión del metal y disminuye simultáneamente su ductilidad. Tanto el titanio como algunas de sus aleaciones tienen buenas características de resistencia a la tensión, ductilidad y tenacidad hasta -240ºC [2]. Los bajos coeficientes de dilatación y de conductividad térmica, comparados con los de los aceros contribuyen a su buena soldabilidad.

La soldadura de titanio y sus aleaciones siempre han representado un gran reto para los diseñadores y tecnólogos. Las aleaciones de titanio, especialmente las tratadas térmicamente, son difíciles de unir por medio de técnicas de soldadura por fusión, ya que algunos defectos de soldadura como grietas y porosidad se forman durante la solidificación de la soldadura [1].

En muchas aplicaciones para las industrias aeronáutica, automotriz, naviera, de la construcción, etc., las estructuras soldadas pueden estar sujetas a cargas cíclicas, cargas de impacto o de explosión. Por lo tanto, es importante entender como estas condiciones de servicio tienen efecto en las propiedades mecánicas de los materiales estructurales sujetos a altas velocidades de deformación a la que estos componentes pueden ser sometidos durante el servicio.

Procedimiento experimental

Materiales, proceso de soldadura y preparación del espécimen

Para este proyecto de investigación se utilizó una placa de aleación de Ti-6Al-4V, ASTM B265 grado 5 con dimensión de 1000x1000x4.46 mm de ahí se tomaron cupones de 40 x 250 x 4.46 mm. La composición química se muestra en la Tabla No. 1. El proceso de soldadura utilizado fue GTAW automatizado con aporte "*cold wire*".

La soldadura se realizó, uniendo dos placas a tope, el material de aporte utilizado fue ERTi-5ELI, el dispositivo de protección con gas argón se muestra en la Fig. No 1. El gas empleado para la protección fue argón de alta pureza (99.999%), con un flujo de 0.7079 metros cúbicos por hora (CMH) en la antorcha y 0.9910 CMH en el respaldo. Las variables eléctricas del procedimiento de soldadura utilizado son las que se muestran en la Tabla No. 1. La composición química del material fue determinada por combustión y detección infrarroja (C y S) y por espectrometría de plasma, ver Tabla No. 2.

Tabla 1.-Variables eléctricas del proceso de soldadura.

Pasada	Corriente (A)	Voltaje (V)	Electrodo	Calor generado (Q)(KJ/mm)
1	100	18	ERTi-5ELI	60
2	120	20	ERTi-5ELI	46
3	120	20	ERTi-5ELI	46

Tabla 2.-Composición química Ti-6Al-4V

Mn (%) 0.005	P(%) 0.016	Si(%) 0.014	Cr(%) 0.017	Cu(%) 0.027	Mo(%) 0.009	Al(%) 5.68	Mg(%) <0.01	Zn(%) <0.01	V(%) 3.79
Zr(%) <0.01	Fe(%) 0.20	Sn(%) 0.28	Pb(%) <0.01	Sb(%) 0.052	Co(%) 0.14	Cd(%) 0.005	Ca(%) 0.16	C(%) 0.03	S(%) <0.002

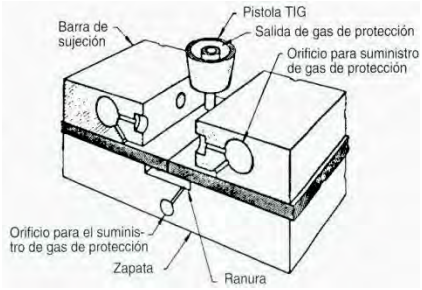


Fig. 1a.-Diseño protección de atmosfera

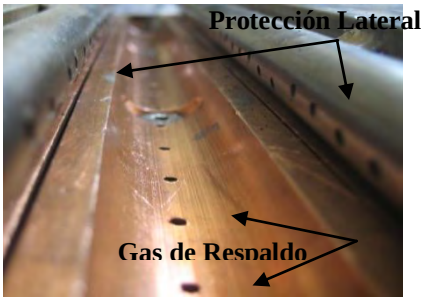


Fig.1b.- Protección de la atmosfera

La Fig. 2(a) muestra el diseño de junta, en la que se puede ver las dos placas soldadas entre ellas con un bisel en "V" de 60° y una separación de raíz de 1 mm sin hombro. La unión soldada se llevó a cabo utilizando un total de 3 pasadas de soldadura, una pasada por el lado de la raíz y dos pasadas por la cara. Una vez terminado el proceso de soldadura, los especímenes de prueba se obtuvieron del centro de la junta soldada cortando en dirección perpendicular a la soldadura. Las dimensiones del espécimen se muestran en la Fig. 2(b). Las soldaduras por fusión se realizaron con un sistema automático GTAW con alimentador de aporte automático. La dirección de la soldadura fue perpendicular a la dirección del laminado.

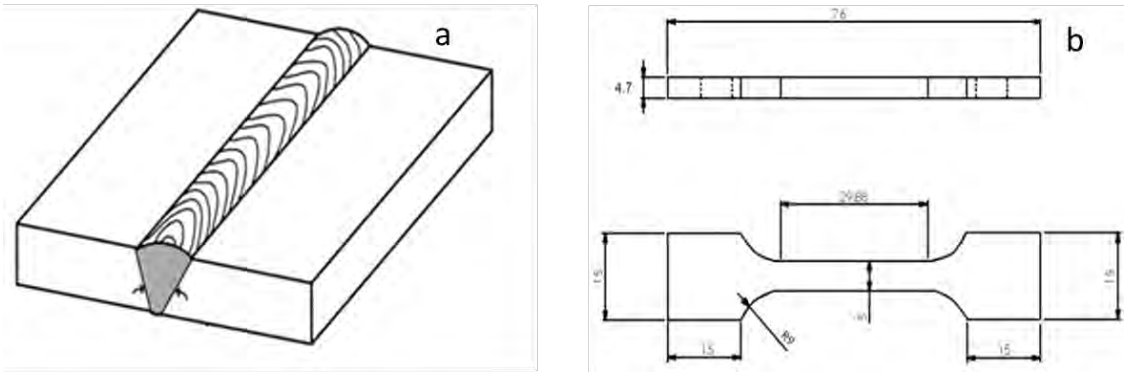


Fig. 2. Representación esquemática de la unión soldada y el espécimen usado en las pruebas cuasi-estáticas (dimensiones en mm)

Pruebas de Tensión

Los ensayos para determinar las propiedades mecánicas cuasi-estáticas se realizaron en una máquina MTS810 aplicando una carga monotónica a una velocidad constante de 1 mm/min. La Tabla No. 3 muestra los resultados obtenidos de los materiales libres de daño por fatiga a temperatura ambiente. El esfuerzo de fluencia fue calculado empleando el método de *offse*t del 0.2%.

Pruebas de Fatiga

El daño por fatiga fue inducido en las muestras de metal base y en las muestras con soldadura. Los diferentes especímenes fueron sometidos a un proceso de fatiga previa por control de esfuerzo, usando una carga cíclica uniaxial, utilizando una relación de reversión constante de esfuerzos, $R=\sigma_{min} / \sigma_{max} = 0.1$.

Tabla 3.-Propiedades mecánicas cuasi-estáticas sin daño.

Ti-6Al-4V	Material Base	Unión TIG
Módulo de Young (GPa)	121	97
Esfuerzo de fluencia (MPa)	937	880
Esfuerzo último (MPa)	991	981

La sección transversal de los especímenes fue de 5.0 x 4.46 mm; véase la Fig. 2(b). La carga cíclica aplicada fue de forma senoidal a una frecuencia de 30 Hz y a temperatura ambiente. El daño por fatiga fue inducido a los especímenes a diferentes niveles de esfuerzo para ser llevados a la falla por fatiga para determinar las curvas esfuerzo – ciclos (σ – n). Una vez determinado el número de ciclos a los que ocurre la falla, y tomando como punto de referencia la curva σ- n, se indujo daño por fatiga sin llegar a la falla, sometiéndolos a menores porcentajes de daño (menos ciclos), como se indica en la Tabla No 4. La carga cíclica de amplitud constante aplicada para todos los especímenes fue σ_{min}=70 MPa y σ_{max}=700 MPa, *R=0.1*.

Tabla 4.-Niveles de daño inducido a los especimenes.

	100% ruptura ciclos	75% daño ciclos	50% daño ciclos	25% daño ciclos
Metal Base	322,346	241,759	161,173	80,586
Unión TIG	37,397	28,047	18,698	9,349

Microdureza

La medición del perfil de microdureza se realizó en dirección perpendicular a la soldadura. Se aplicó una carga de 500g y un tiempo de 5s para cada identación, en un microdurómetro digital Future Tech.

Metalografía

Para realizar los análisis metalográficos se utilizaron muestras montadas en resina transparente en frío, utilizando un pulido automático a 150 rpm con 6 libras de presión y un ataque químico *kroll´s* [13].

Resultados y discusión

Pruebas cuasi-estáticas de tensión

Las pruebas cuasi-estáticas de tensión se realizaron en especímenes obtenidos del metal base y las uniones soldadas, las curvas de esfuerzo-deformación se muestran en la Fig. No. 3. La curva esfuerzo-deformación del material base es incluida para comparación. Se realizaron 4 probetas distintas, donde se observa una excelente repetibilidad entre ellas. Propiedades importantes obtenidas de las curvas tales como el módulo de Young, esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último se muestran en la Tabla No. 3. Nótese que las propiedades de la unión soldada son casi las mismas que la del material base. El esfuerzo último de las uniones soldadas es alrededor del 98.99% del obtenido en el material base y el esfuerzo de fluencia es alrededor del 93.91% del medido en el material base. Por lo cual podemos asumir que se tiene una eficiencia aceptable, por encima del 90% en la unión soldada.

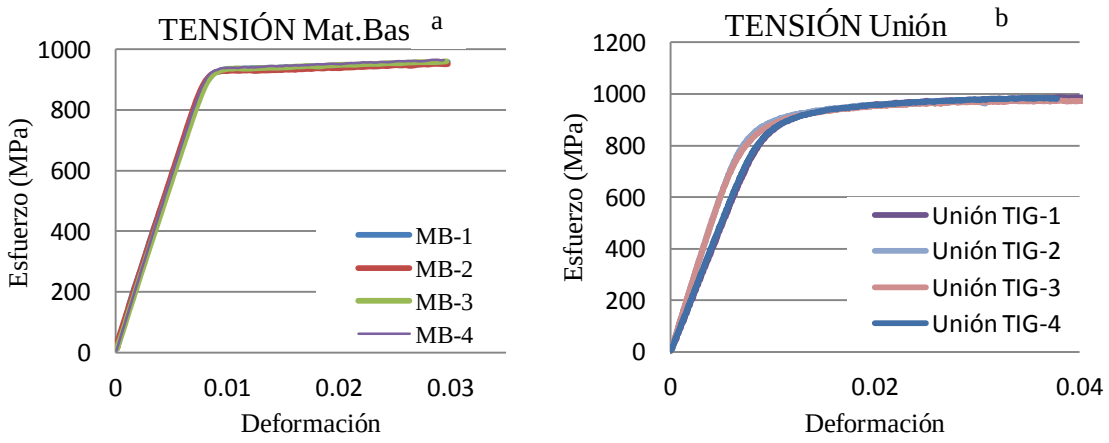


Fig. 3. Curvas esfuerzo-deformación cuasi-estáticas (a) Material base (b) Unión TIG

Pruebas de fatiga

Las curvas esfuerzo – ciclos (σ – n) se realizaron tanto en material base como en la unión soldada mostradas en la Fig. 4, fueron tomadas como referencia en el nivel de esfuerzos para acumular daño por fatiga en los especímenes, todos los especímenes fueron probados a diferentes niveles de esfuerzo hasta alcanzar la falla por fatiga. Para realizar la acumulación de daño se tomó como referencia un esfuerzo de 700MPa en ambos casos, de ahí se acumuló daño en un 75, 50 y 25% de daño en ambos casos como se muestra en la Tabla No. 4.

Pruebas cuasi-estáticas de tensión con daño previo

Las curvas esfuerzo-deformación cuasi-estáticas del metal base y de las uniones soldadas para los diferentes niveles de daño son mostradas en la Fig. 5, diferente número de ciclos fueron aplicados para inducir el daño por fatiga (ver Tabla 4). Las curvas esfuerzo-deformación del material con daño a diferentes niveles y libre de daño son incluidas en la Fig. 5 para comparación.

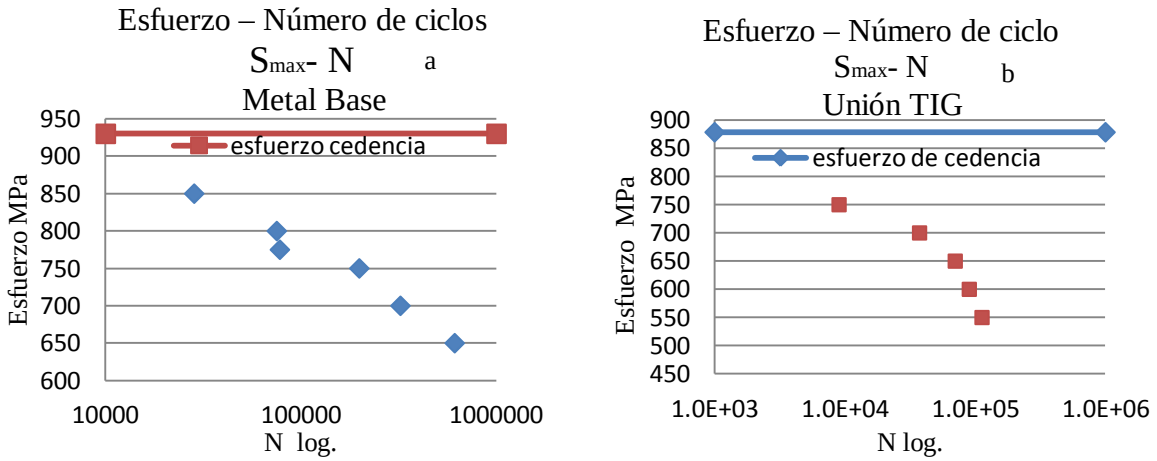


Fig. 4. Curvas de fatiga esfuerzo – ciclos (σ – n) (a) Material base (b) Unión soldada.

De estos resultados es posible observar un efecto no significativo del daño previo por fatiga en la respuesta esfuerzo-deformación a tensión de los especímenes sometidos a este nivel de esfuerzos.

De estos resultados es posible observar un efecto no significativo del daño previo por fatiga en la respuesta esfuerzo-deformación a tensión de los especímenes sometidos a este nivel de esfuerzos.

Existen pequeñas variaciones debido al daño acumulado en la unión soldada. Un resumen de las propiedades mecánicas de las uniones con y sin daño previo por fatiga se presenta en la Tabla No.5. La estabilidad de las propiedades mecánicas cuasi-estáticas a diferente nivel de daño nos proporciona información para poder concluir que el comportamiento de esta estructura del material base y la unión soldada se comportan de manera similar a este nivel de esfuerzos.

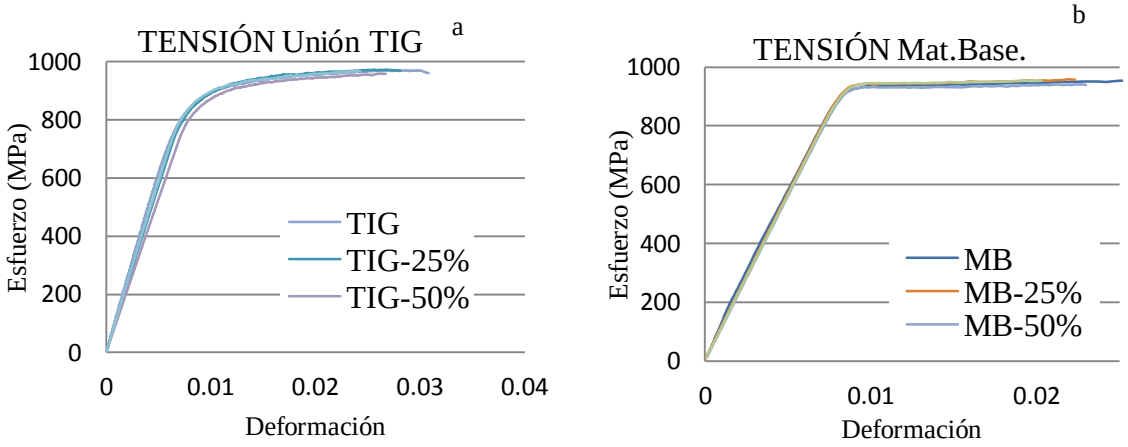


Fig. 5.-Curvas esf.-def. cuasi-estáticas con y sin daño previo (a) Unión soldada (b) Material-base.

Microdureza

La Fig. 6 muestra el perfil de microdureza de la unión soldada. La Fig. 6(a) presenta la sección transversal de la unión y la línea dibujada indica la ruta seguida para la medición de la microdureza de la soldadura por fusión. El metal base (MB) presenta valores de dureza sobre 370HV. La dureza decrece en la zona afectada térmicamente (ZAC) alcanzando valores alrededor de 360HV, y en la zona del material de soldadura se tiene una caída mayor de dureza alcanzando valores alrededor de los 340HV lejos de la ZAC, la dureza alcanza 360HV, en general podemos observar que no existe una gran diferencia de la microdureza a lo largo de las diferentes regiones de la unión soldada, alcanzando valores entre 340HV y 375HV en la mayor parte de la sección transversal.

Tabla 5.-Propiedades mecánicas del material base y las uniones soldadas. Condición cuasi-estática con y sin daño.

	M.B.	TIG.	MB25%	MB50%	MB75%	TIG25%	TIG50%	TIG75%
Módulo de Young (GPa)	122	97.4	113	111	113	104	105	115
Esfuerzo de fluencia (MPa)	937	880	938	930	944	887	876	878
Esfuerzo último (MPa)	991	981	989	977	992	952	968	972

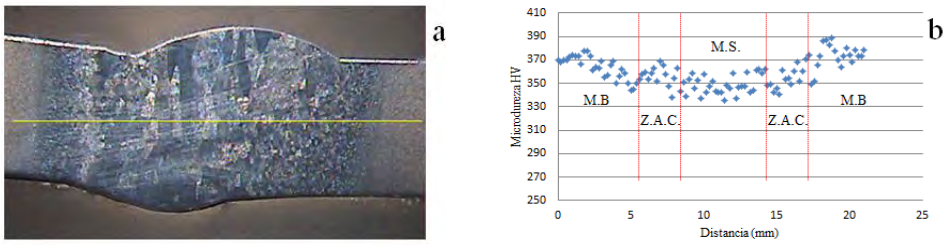


Fig 6. Perfil de microdureza de la unión soldada. La línea indicada en (a) ilustra la ruta seguida para la medión de la microdureza.

Modos de falla

Las fractografías de la superficie de fractura de los especímenes ensayados a tensión en el material base y la unión soldada con y sin daño previo fueron obtenidas mediente un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM, por sus siglas en ingles) JEOL JSM-6640LV.

Las Figs. 7 y 8 muestran las superficie de fractura de especímenes distintos de material base bajo carga cíclica con reversión $R=0.1$ y daño acumulado de 50 y 75% respectivamente.

Tambien se observó los modos de fallo en las uniones soldadas, observando que todos los especímenes tuvieron un modo de fallo similar, éste ocasionado por concentradores de esfuerzos en la zona de la soldadura, se encontraron microporos que actuaron como concentradores de esfuerzos y de ahí partio la falla por fatiga en todos los niveles de daño.

Las Figs. 9 y 10 muestran las superficie de fractura de especímenes distintos de unión soldada con daño acumulado de 50 y 75% respectivamente. Se incluye un análisis por dispersión de emisión espectrométrica (E.D.S.), para conocer la composición quimica que se encuentra en los microporos y saber que éstos no han sido generados por contaminación de la atmosfera al momento de aplicar la soldadura, en general los resultados obtenidos por E.D.S. en los poros muestran un alto contenido de Ti, Al y V, elementos aportados por la aleación, en las Figs. 9 y 10 se muestran análisis E.D.S.

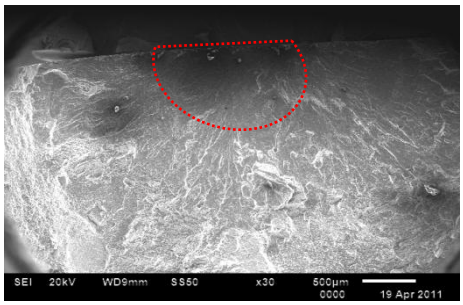


Fig. 7a. Inicio de la falla inducido por fatiga en el borde del espécimen.

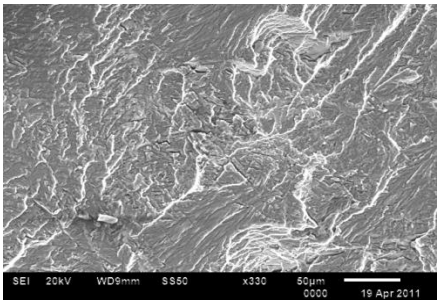


Fig. 7b. Grietas de fatiga en toda la superficie de falla del espécimen.

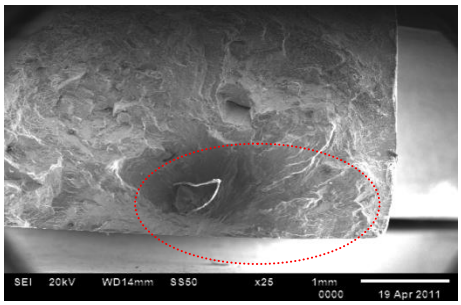


Fig. 8a. Inicio de falla por fatiga.

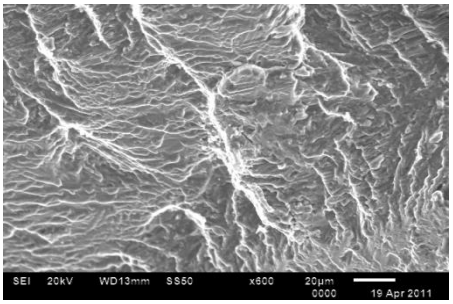


Fig. 8b. Grietas de fatiga zona de falla

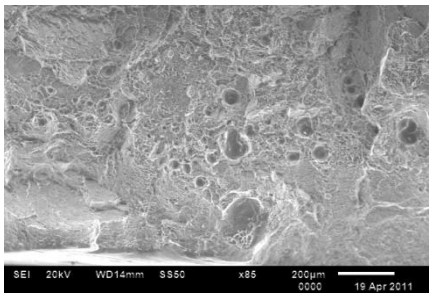


Fig. 9a.-Zonas con microporos agrupados

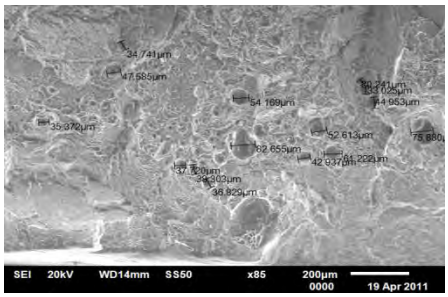
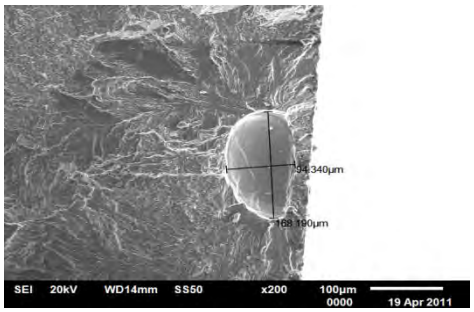


Fig. 9b.–Dimensión de los microporos



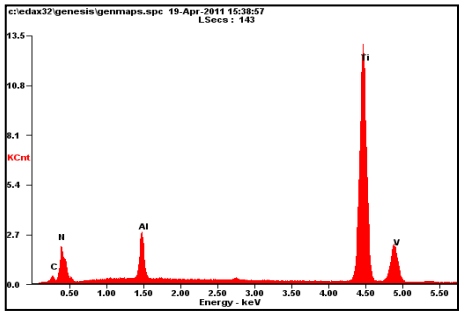
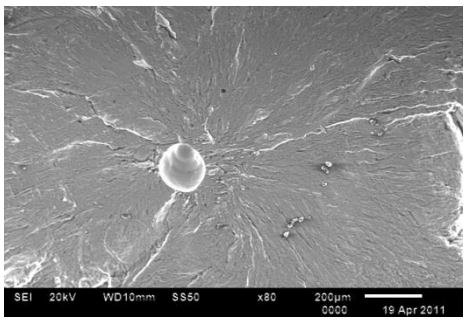


Fig. 9c.-Análisis de un microporo al azar por dispersion de emisión espectrometrica (E.D.S.)



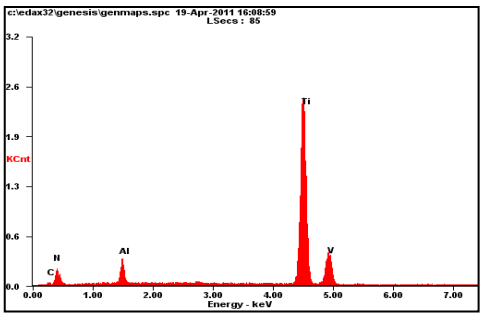


Fig. 10. Analisis de un microporo al azar por E.D.S.

Nótese la combinación de modos de falla en las Figs. 7-10, esto es, junto con mecanismos bien definidos de falla por fatiga se repite en los diferentes especímenes, teniendo una repetibilidad significativa en el material base y la unión soldada, sin importar la acumulación del daño.

Esto se puede comparar con la respuesta cuasi-estática mostrada en la Fig. 5, donde la curva esfuerzo-deformación del los especímenes con daño previo se comparan con los materiales sin daño teniendo un comportamiento muy similar en propiedades mecánicas y momento de ruptura.

Conclusiones

El efecto del daño previo por fatiga en el comportamiento a tensión del material base, que se utilizó como parámetro de comparación y de uniones soldadas de la aleación de Titanio Ti-6Al-4V *(grado 5)* se investigó en este trabajo. El procesos TIG de soldadura para esta investigación fueron desarrollados y aplicados bajo condiciones experimentales de laboratorio. El comportamiento cuasi-estático fue estudiado en especímenes con diferentes niveles de daño previo por fatiga en el material base y en la unión soldada. Se comparó la respuesta de las uniones soldadas y la del material base.

Se presenta un cambio en la estructura metalográfica del material de la unión en sus tres zonas (MB, ZAC y MS), reflejando variaciones en la dureza del material, sin tener un efecto significativo en la respuesta mecánica de los materiales.

No se observó un efecto significativo del daño previo por fatiga en la respuesta esfuerzo-deformación cuasi-estática de los especímenes del material base y de la unión soldada al nivel de esfuerzos de 700MPa a temperatura ambiente. Se produjo el mismo modo de falla para los especímenes con unión soldada, sin importar el nivel de daño que tenían acumulado, siendo el modo principal de falla la concentración de esfuerzos en los microporos en todos los especímenes.

El problema de las porosidades se debe en la mayoría de los casos a la oclusión de gases durante la solidificación del metal de aporte, afectado por la técnica y el procedimiento de soldadura. El hidrógeno en solución en el metal cuando se halla dentro de los límites permitidos no es la causa principal de porosidad. El límite máximo de hidrógeno en el titanio es inferior a 150 ppm, y comúnmente no llega a 100 ppm. Es posible lograr soldaduras sin porosidad cuando el contenido de hidrógeno se encuentra dentro del límite antes descrito. Otra posible fuente de hidrógeno puede tener origen en la humedad absorbida. Dicha humedad puede ser eliminada con un precalentamiento a 120ºC previo a la soldadura. La estabilidad de las propiedades mecánicas cuasi-estáticas ayudó a la mejora de el comportamiento de esta estructura con unión soldada.

Referencias

[1]. ASM International. Volume 1 “Properties and selection irons, steel, and high-performance alloys”, (2007)
[2]. ASM International. Volume 3 “Alloy Phase Diagrams”, (2007)
[3]. U. Sánchez-Santana, C. Rubio-González, G. Mesmacque, A. Amrouche, X. Decoopman. “Effect of Fatigue Damage Induced by Cyclic Plasticity on the Dynamic Tensile Behavior of Materials”. International Journal of Fatigue 30(2008):1708-1719
[4]. U. Sánchez-Santana, C. Rubio-González, G. Mesmacque, A. Amrouche, X. Decoopman. “Dynamic Tensile Behavior of Materials with Previous Fatigue Damage”. Materials Science and Engineering A 497(2008):51-60
[5]. C. Rubio-González, E. Miranda-Paniagua, G. Mesmacque, A. Ruiz. “Dynamic Tensile Behavior of Steel Welded Joints with Previous Fatigue Damage. Submitted to Int. J. Fatigue, 2009.
[6]. M. A. Meyers. Dynamic Behavior of Materials. Wiley Interscience Publication, 1994.
[7]. Lessells, John M. Strength and Resistance of Metals. Chapman & Hall, 1994.
[8]. World Center For Materials Joining Technology, TIG The Titanium Information Group, Designers and Users Handbook ,TWI 1999
[9]. Fractura Mecánica un enfoque global, S. Oller, CIMNE Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Barcelona España, 2001
[10]. AWS 17: Specification for Fusion Welding for Aerospace Applications.
[11]. National Aeronautics and Space Administration. “Fusion Welding Titanium and Titanium Alloys”. Materials and Processes Laboratory Science and Engineering, 1982.
[12]. M.T. McLellan. Types Ti-6AL-4V. Aerospace Structural Metals Handbook, 2000
[13]. George F. Vander Voort, Buehler Ltd. Metallography of Aerospace, 2008
[14]. Ralph I. Stephens. Metal Fatigue in Engineering. Wiley Interscience. 2001
[15]. C.H. Wang. Introduction to Fracture Mechanics. Defense Science and Technology Organization, 1996
[16]. David Roylance. Introduction to Elasticity. Department of Materials Sciens and Engineering Massachusetts Institute of Technology, 2000
[17]. Julie A. Bannantine. Fundamentals of Metal Fatigue Analysis. Prentice Hall, 2002
[18]. Ricardo Echavarria. Fractura de Materiales. Universidad Nacional del Comahue, 2003.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 52. Volumen 4(1), 10 páginas.

TRANSPORTE AUTOMATIZADO PARA EL EMPAQUE DE PAÑAL

Ivone Cecilia Torres Rodríguez[1], Pedro Francisco Huerta González[2], Antonio Obregón Tenorio[3]

Resumen

Con el desarrollo de este trabajo se diseña una máquina automatizada para corregir el transporte final del producto para lograr un embolsamiento manual del pañal. Tal diseño se adapta a la etapa final del proceso de la máquina principal RIF 32-39 M.D Viola Machine S.R.L. La máquina propuesta consta de un diseño mecánico compuesto por bandas de transporte y módulos clasificados para el apilamiento y conteo del pañal, así también se presenta el análisis del sistema de impulsión eléctrico para poder controlar el movimiento de la máquina por medio de un Controlador Automático Programable e integrar esta técnica con el monitoreo de la máquina por medio de una Interface-Hombre-Máquina.

Palabras clave: Controlador Automático Programable, Empaque de pañal, Interface-Hombre-Máquina.

Summary

With the development of this work an automated machine is designed to correct the final transportation of the product manual for a diaper sack. This design is adapted to the final stage of the main machine RIF 32-39 MD Viola Machine SRL. The proposed machine has a mechanical design consists of conveyor belts and modules qualified for stacking and counting of the diaper, and also presents the analysis of the electric drive system to control the movement of the machine by means of a Programmable Automation Controller and integrate this technique with monitoring of the machine by a Human-Machine Interface.

Keywords: Automatic Programmable Controller, Packaging Diaper, Man-Machine Interface.

Introducción

El desarrollo de las máquinas automatizadas y la integración en los procesos productivos han demostrado un aumento en la producción en los procesos de manufactura. Con respecto a esto en la literatura se encuentra que se ha controlado el movimiento de una banda transportadora por medio de un controlador lógico programable de la marca SIEMENS serie S7-200 [1], en donde se da a conocer el funcionamiento de este PLC y la forma en la que opera con los demás dispositivos, este tipo de PLC no cumple con las expectativas de la propuesta ya que cuenta con un adaptador para comunicación de tipo serial y no de tipo Ethernet/IP que es la requerida para el protocolo de comunicación, otra desventaja de este PLC es que no permite integrarle módulos de entrada y salida ya que se tienen la necesidad de manejar un numero extenso de entradas y salidas, motivo por el cual, se decidió a la implementación del controlador PAC L23E que facilita el manejo de información a los demás dispositivos de control.

También se han controlado los motores a través de dispositivos y controladores de los cuales se menciona el funcionamiento de los *drives* también conocidos como variadores de velocidad [2]. Cabe mencionar que el tipo de variador utilizado en el trabajo consultado no es el que se propone en la presente propuestadebido a que no se adapta al tipo de comunicación que se establece.

En el transporte de materiales [1] se han creado diversas formas de transporte; pero una de las más eficientes es el transporte por medio de bandas transportadoras, ya que estos elementos son de una gran sencillez de funcionamiento, que una vez instaladas en condiciones suelen dar pocos problemas mecánicos y de mantenimiento.

[1] IPN ESIME Zacatenco, Ingeniería en Control y Automatización, México D. F. Tel. (55) 5729 6000, Ext. 54062.
E-mail: bonceci@yahoo.com.mx
[2] Idem. E-mail: phuerta@ipn.mx
[3] Idem. E-mail: aobregont@ipn.mx

Las bandas y rodillos transportadores son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es la de recibir un producto de forma continua y regular su transporte para conducirlo a otro punto. Las bandas transportadoras constituyen en sistemas mecanizados que forman líneas de proceso y no requieren generalmente de ningún operario que manipule directamente sobre ellas de forma continua [2].

En su forma más elemental, consisten en una banda que recibe su tracción mediante rodillos especiales los cuales a su vez son conducidos por sistemas de impulsión mecánicos [3]. La banda es fabricada, según su aplicación, con materiales y dimensiones diferentes y sirve directa o indirectamente para transportar los materiales.

El proyecto está respaldado con técnicas de ingeniería, representando un diseño mecánico por medio de un software de computador llamado Autodesk Inventor. Este diseño se representa con en una serie de planos y dibujos estructurados que a su vez forman un enlace entre los mismo para formar así una máquina completa.

Esta máquina es independiente de la máquina de producción principal nombrada anteriormente (máquina RIF 32-39 Viola Macchine S.R.L.) por lo cual no depende de ninguna parte o forma de la misma, teniendo así sus propias dependencias y formas.

Transporte manual

Al finalizar la etapa de fabricación del pañal, la máquina expulsa los pañales y el transporte se realiza de manera manual y para su lograr su embolsamiento se clasifica en tres partes.

- Transporte y conteo
- Apilamiento y formación
- Compactación y embolsamiento.

La acción simplemente es llevada por operadores de forma manual, sin ningún uso de herramientas. En la Fig. 1 se muestra un plano en vista aérea donde se observa la etapa de transporte manual, y las etapas finales que también no forman parte de la máquina, como embolsamiento del producto y sellado de la bolsa, empaque del producto y sellado de las cajas para el armado de tarima.

Esta etapa requiere de cuatro operadores y la función de cada uno se explica a continuación de acuerdo a la numeración de cada operador ilustrada en la Fig. 1.

- *Transporte y Conteo*: Esta clasificación puede contar con un solo operador si la velocidad de producción de la máquina es baja, pero cuando la máquina produce de forma rápida puede necesitar de más operadores para agilizar la producción. De acuerdo a la numeración de los operadores 1 y 2, que se muestra e la figura 1, el operador No. 1 recibe los pañales expulsados por la máquina, los mantiene estáticos con una base, mientras los cuenta de acuerdo a la bolsa o presentación del producto, después de contarlos se los asigna al operador No 2, inmediatamente los acomoda y ordena de forma correcta en la mesa de manera en que estén al alcance del operador No. 3.

- *Apilamiento y Formación*: El operador No. 3 apila los pañales y los forma adecuadamente en el módulo neumático para compactación y embolsamiento, los toma de la mesa con ambas manos, después de apilarlos y formarlos adecuadamente, los deposita en una cabina especial del módulo y oprime un botón que se encuentra a su alcance, activando así el módulo de compactación y embolsamiento.

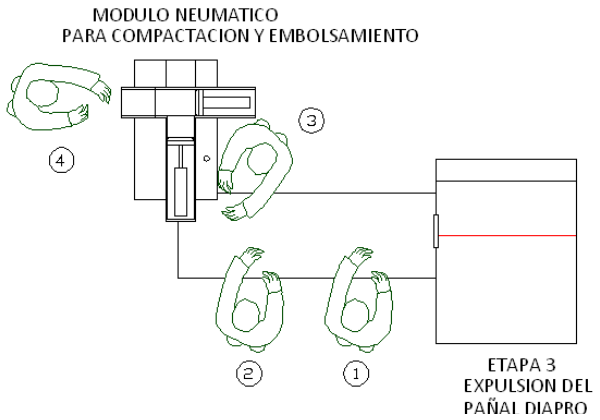


Figura 1. Etapa de transporte manual.

- *Compactación y Embolsamiento*: El funcionamiento de este módulo se efectúa por actuadores neumáticos, donde el primer cilindro compacta los pañales reduciendo su volumen para un mejor almacenamiento en la bolsa, al compactarlos, se activa el segundo cilindro que los expulsa fuera del módulo sin romper la formación de los pañales. El operador No. 4 solo se dedica a esperar la salida de los pañales tomando la bolsa dependiendo su presentación y la cantidad de pañales, este operador toma la bolsa con ambas manos y al abrir la bolsa la coloca en el módulo cubriendo una boquilla de salida, donde los pañales salen con suficiente fuerza llenando completamente la bolsa. Después el mismo operador deposita la bolsa con el producto en la banda transportadora que lleva las bolsas a los módulos de sellado.

Planteamiento y desarrollo mecánico

Se desarrolla un transporte por medio de tres bandas de transporte y dos módulos de funcionamiento automatizado [4]. En la Fig. 2 se observan las diferentes secciones que completan este proyecto y se integran a la expulsión del pañal, que forma parte de la etapa 3 de la máquina RIF 32-39. El pañal al ser expulsado tiene como meta principal llegar al módulo B representando un embolsamiento manual, dado por un solo operador.

Figura 2. Bloques de proceso automatizado del proyecto.

Módulo de la banda transportadora 1 (BT1)

El funcionamiento del módulo BT1 es recibir el pañal de tal manera que no pierda su formación y no se desdoble, tomando en cuenta la figura 3, la medida real del pañal es de 20 x 25 cm y 3 cm de grosor con un peso real de 75 grs.

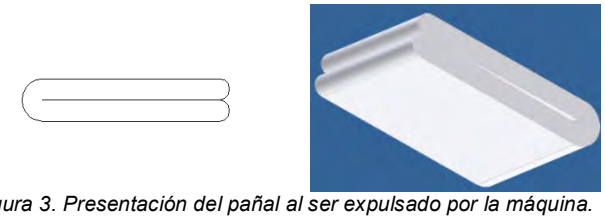


Figura 3. Presentación del pañal al ser expulsado por la máquina.

El módulo BT1 (Fig. 4) se diseña en función a la altura de expulsión de pañal producido por la máquina RIF 32-39 que es de 1147 mm. Como el pañal sale doblado al ser expulsado, es importante instalar una resbaladilla que disminuya la velocidad e inmediatamente una placa especial arriba de la banda para que el pañal no pierda su doblez y se facilite su transporte hacia el módulo A [4].

Este accesorio puede readaptarse de acuerdo al tamaño del pañal y se puede modificar de manera mecánica. Solamente la placa puede ir instalada arriba de la base como se muestra en la Fig. 5, donde se observa un sencillo diseño de este equipo que puede adaptarse de manera externa a las bases de las banda de transporte.

Módulo A

Representa la etapa de apilamiento, conteo y compactación, su funcionamiento es la de un contenedor el cual recibe los pañales de BT1, y desciende por medio de una resbaladilla, cada unidad de pañal será contada mediante un sensor al caer dentro del contenedor (Fig. 6) [5].

Un sensor cuantifica la cantidad correcta de cada pañal, al detectar el límite de pañales programado, inmediatamente activa el cilindro (1) el cual comprime el pañal a una medida establecida de 190 mm, cuya distancia es detectada por otro sensor que delimita la carrera del vástago del mismo cilindro. Después inmediatamente el cilindro (2) expulsa el pañal fuera de la banda hacia el módulo BT2 y BT3. La distribución de los dos cilindros se muestra en la Fig. 7.

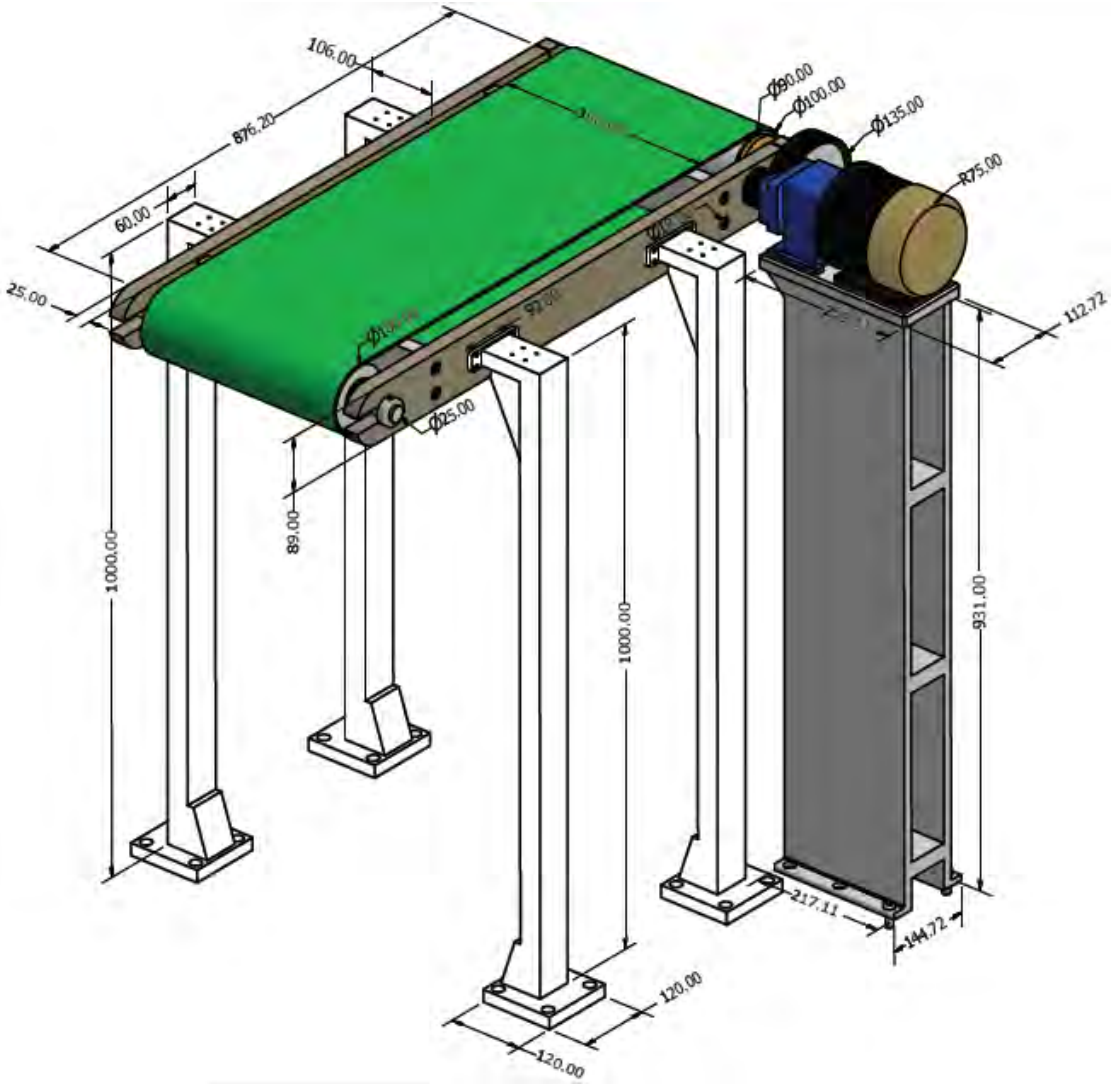


Figura 4.- Módulo BT1 (acotaciones en mm).

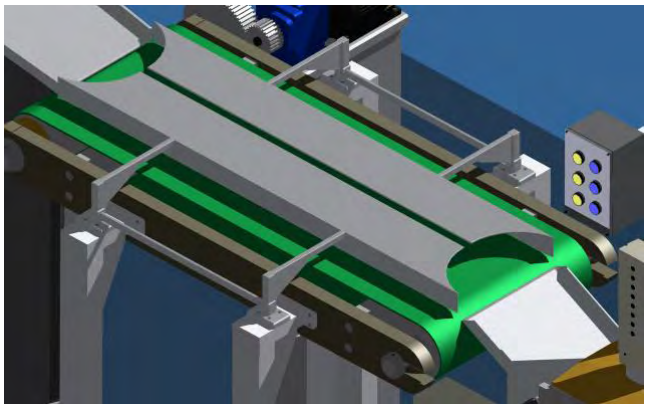


Figura 5.- Base guía especial que evita el desdoble del producto.

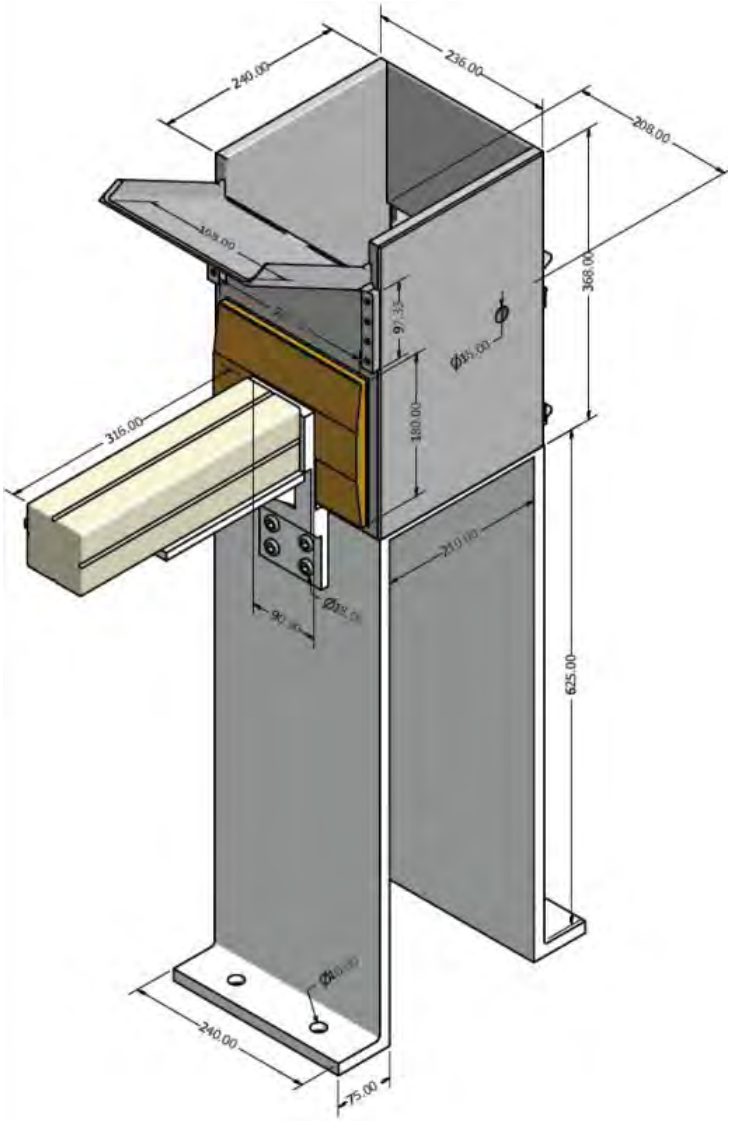


Figura 6. Presentación del Módulo A (acotaciones en mm).

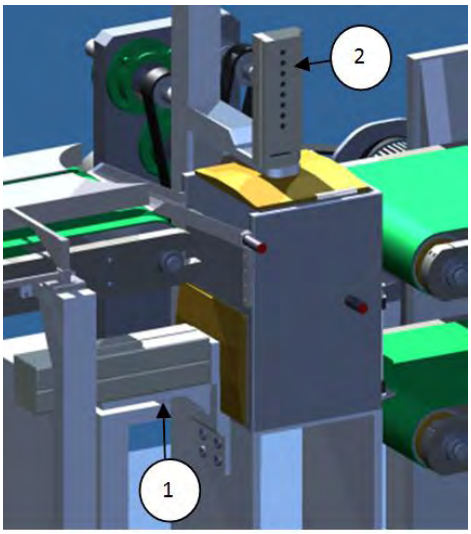


Figura 7. Módulo A (distribución de los cilindros neumáticos).

Módulo BT 2 Y BT 3

Como se muestra en la Fig. 8, en estos módulos se observa la instalación mecánica de las dos bandas de transporte, las cuales son accionadas cuando el cilindro neumático de Expulsión (Cilindro 2) del módulo A, expulsa el pañal hacia este módulo [5]. La separación entre las bandas es de 190 mm y solo depende de la banda superior la cual puede moverse mecánicamente gracias a su base de apoyo.

Módulo B

Este módulo depende de un sensor el cual acciona el movimiento del cilindro cuando detecta el paquete compactado de pañales ya apilados para que los expulse y pasen por medio de una boquilla especial de almacenamiento para ser embolsados de forma manual, el cual no permite romper la formación del pañal [5]. Esta boquilla se diseñó así con el motivo de brindar una comodidad al operador al introducir la bolsa donde se introducen los pañales, este módulo puede ir resguardando los pañales compactados sin permitir una deformación del producto.

El operador al cubrir con una bolsa la boquilla solo espera a que los pañales empujados por el cilindro se introduzcan en la bolsa, para después retirarla para su correspondiente sellado que no forma parte de este módulo ni del proyecto. Es importante mencionar que el módulo B (Fig. 9) se encuentra integrado al Módulo BT2 y BT3 pero su función es independiente. Finalmente la máquina de transporte de producto terminado de pañal queda como se muestra en la Fig. 10.

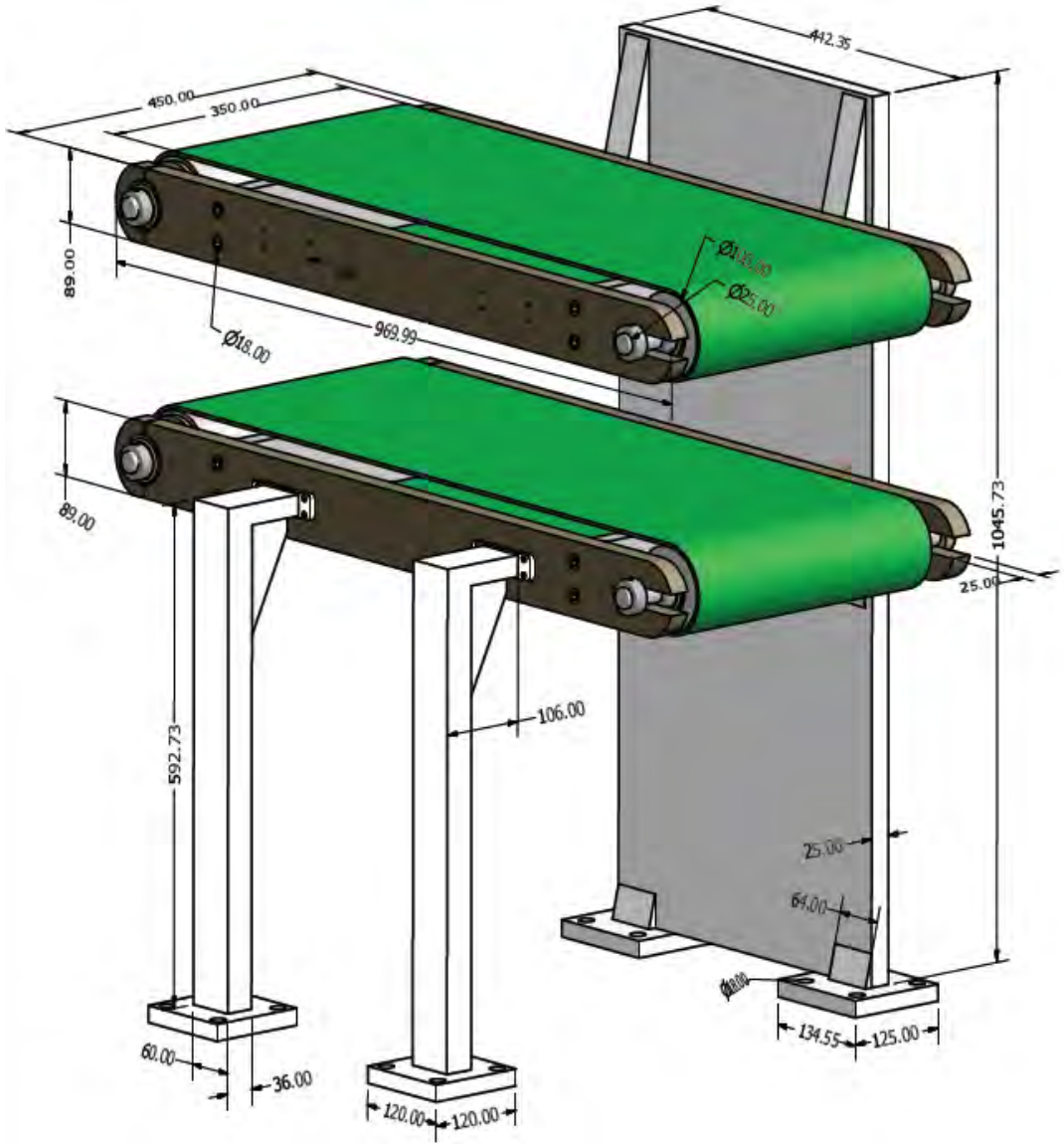


Figura 8. Presentación del módulo BT2 y BT3.

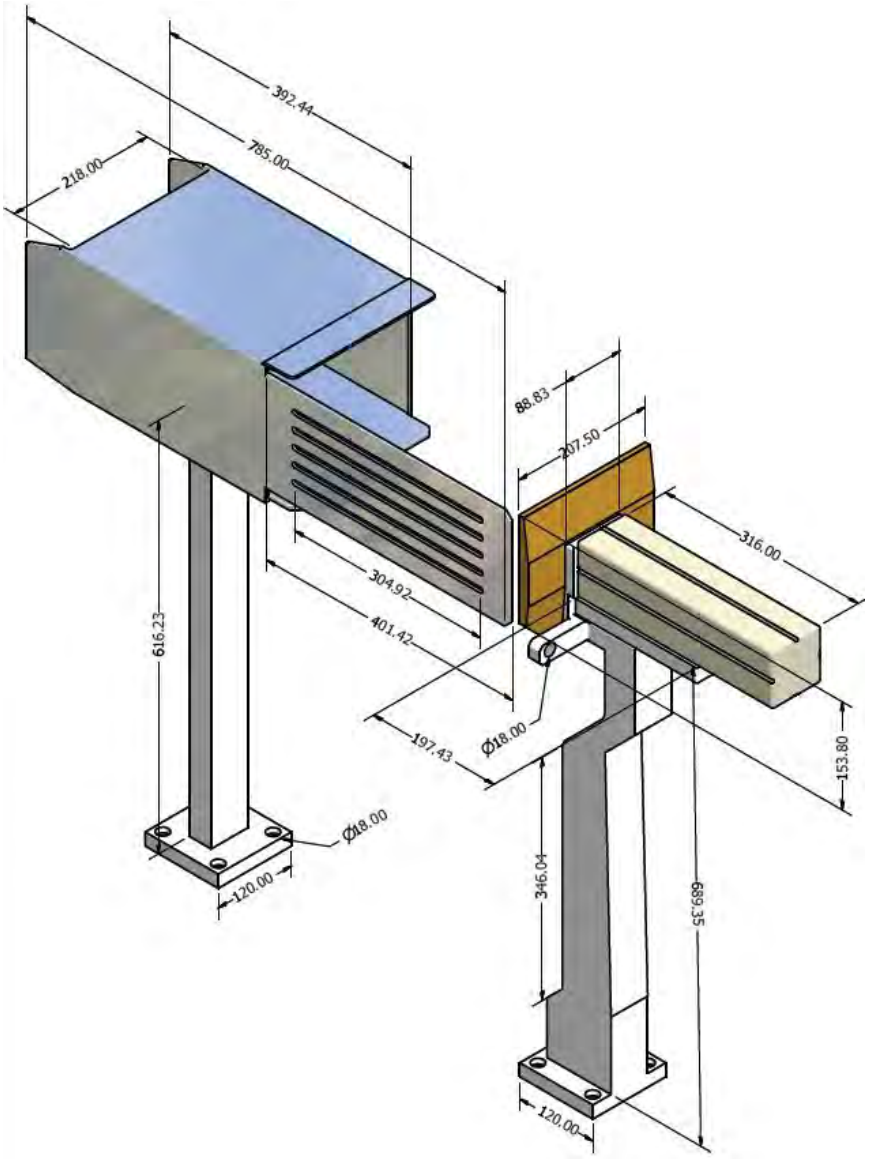


Figura 9.- Presentación del módulo B.

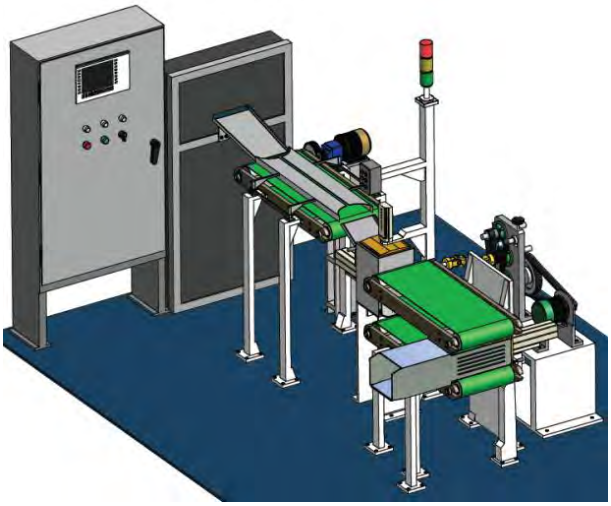


Figura 10. Máquina de transporte automatizado para pañal.

Estrategia de automatización

En la Fig. 11, se muestra la máquina propuesta que contiene, clasifica e identifica los dispositivos de entrada y de salida con el fin de poder desarrollar una propia técnica de automatización.

Figura 11.- Dispositivos de Entrada y de Salida.

Previo a lo anterior se establece el montaje y localización de los dispositivos entrada y salida así como su funcionamiento que desempeñarán en dicha máquina [6].

Para automatizar la máquina se plantea una técnica mediante una serie de etapas ordenadas para guiar y controlar el movimiento de la máquina. Primero se identifican los sistemas de control neumáticos y eléctricos que controlaran el movimiento, como se observa en la Fig. 12.

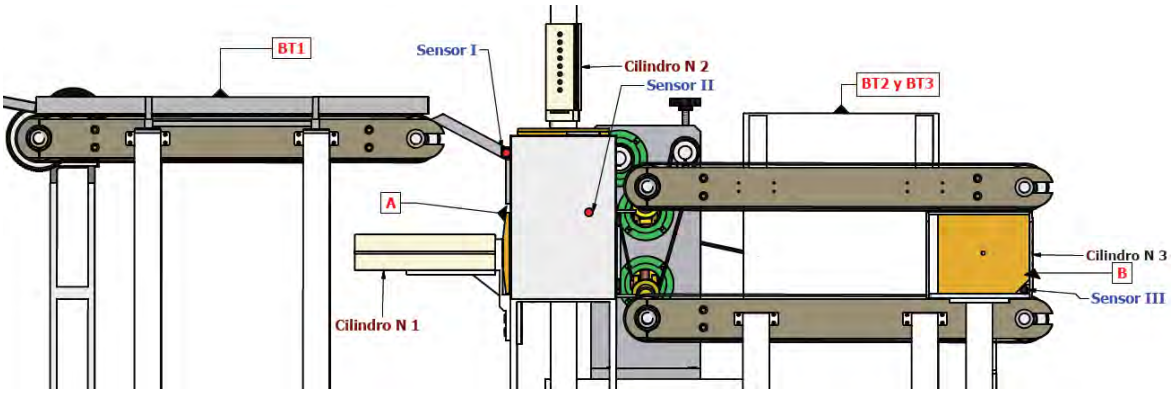


Figura 12. Módulos y dispositivos de control.

Se define el control de movimiento como una técnica de control que actúa como cerebro del sistema el cual toma los perfiles de las posiciones y movimientos deseados ayudando a crear las trayectorias que deberán seguir los sistemas de impulsión que en este caso son motores. Por lo cual se pueden controlar por medio de pulsos de paso y dirección, o por un control *On – Off* utilizando un software de aplicación de un controlador para indicar la posición y perfil de control de movimiento.

Los variadores de velocidad (también llamados drives) toman los comandos del controlador y generan la potencia necesaria para dirigir o girar el motor [7]. Así los motores convierten la energía eléctrica en energía mecánica y producen el torque requerido para mover las bandas en la posición deseada.

Por medio del Controlador Automático Programable (PAC) [8], se realiza la automatización del transporte del producto dentro de la máquina con el fin de interconectar los sistemas de impulsión y hacerlos dependientes de todo el sistema de control. Por lo tanto, el control automatizado se consigue siguiendo la siguiente secuencia de operación, con el fin de arrancar la máquina con dos botones de mando (Arranque y Paro).

Etapa 1

El movimiento de la banda de transporte del Modulo BT1 es ejercido por el Motor I y Motor II también acciona al módulo de transmisión, ambos motores se controlan por medio de variadores de velocidad

PowerFlex 40 de la marca *Allen Bradley* (ver Fig. 13). Estos motores se accionan de forma independiente de manera manual directamente del variador o para un control centralizado automático serán accionados por medio del PAC L23E. De modo que para controlar la velocidad de las bandas de transporte para los módulos BT1, BT2 y BT3 solo depende de los dos variadores de velocidad.

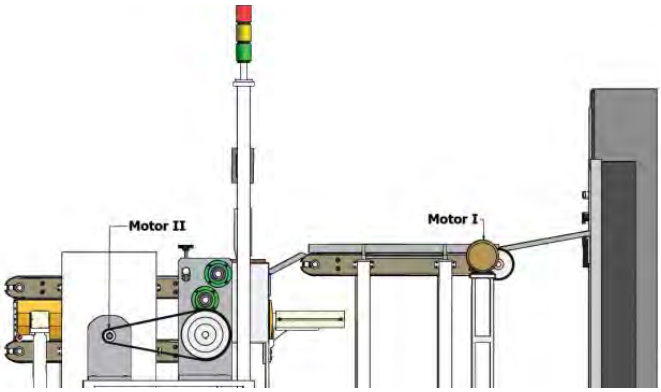


Figura 13. Localización de los Motores I y II de C.A.

Etapa 2

Conociendo que el movimiento de las bandas de transporte es constante se puede emplear la función de los sensores y la respuesta dependiente de los cilindros neumáticos. Observando la Fig. 14, se pueden ordenar los siguientes pasos de control dentro de esta etapa.

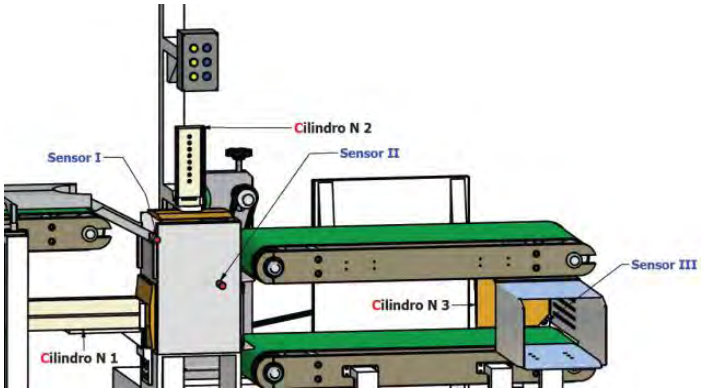


Figura 14. Relación de Sensores con cilindros neumáticos.

Red de comunicación

En la automatización de la máquina con el empleo de la comunicación EtherNet/IP se obtiene una arquitectura multidisciplinaria para facilitar el control, configuración y servicios de recolección de datos por capas [9].

Una característica en particular que puede encontrarse en el tipo de comunicación EtherNet/IP es que cuenta y utiliza TCP/IP para la mensajería en general y servicios de intercambio de información UDP/IP para las Entradas/Salidas que se utilizan para servicios de mensajería de aplicaciones de control.

La comunicación EtherNet/IP ayuda a interconectar dispositivos como los variadores de velocidad (para el accionamiento de los motores), el PanelView plus CE 1000 que se utiliza como HMI y el PAC L23E que es el controlador de todo la máquina, los dispositivos anteriores se muestran en la figura 15 en donde se utiliza una topología tipo estrella, siendo el punto central un conmutador administrable para EtherNet. Este tipo de comunicación EtherNet/IP es compatible con la plataforma comercial de una gama extensa de productos y medios de comunicación y así mismo cumple con los estándares IEEE 802.3/TCP/UDP/IP y convenciones [10].

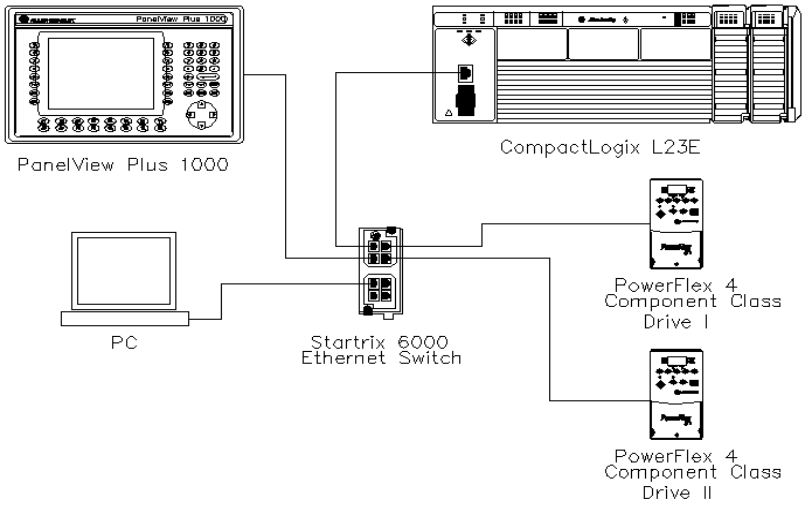


Figura 15.-Red de Comunicación Ethernet tipo estrella.

Conclusiones

Se implementaron diferentes técnicas y conocimientos de ingeniería para lograr una adecuación a una maquina productora de pañales con los diferentes equipos, asistidos por herramientas computacionales. Por lo tanto, con el desarrollo del presente trabajo se propone la solución del procesos de transporte que es llevado a cabo de forma manual; para poder realizarse de manera automatizada todo esto a través de un método que combina la ingeniería e instalación detallada de los elementos que conforman el prototipo.

REFERENCIAS

[1] Tesis ESIME-Culhuacan. 15 de Febrero de 2010. *Control de una banda transportadora con PLC siemens S7-200.*
[2] Tesis ESIME-Culhuacan. 26 de Mayo de 2009. *Control moderno aplicado a maquinas electricas, rotatorias y a sistemas automatizados*.
[3] Barrientos A., Peñin L.P., Balaguer C. y Aracil R. *Fundamentos de Robótica.* 1997. Editorial McGraw Hill.
[4] Mott, R. L. *Diseño de elementos de máquinas.* 2006. Editorial Pearson educación, 872 páginas.
[5] Shigley, J. E., Mischke, C. R., Mitchell, L. D. *Diseño en ingeniería mecánica*. 1985. Editorial Mcgraw-Hill, 915 páginas.
[6] L.A. Bryan, E.A. Bryan. *Programmable Controllers, Theory and Implementation*. Second Edition. 1997. Industrial Text.
[7] Rockwell Automation. *For an Integrated Architecture Take Control with Logix*. May/2003. Pub. 1756-BR001D-EN-P.
[8] Rockwell Automation. *Logix 5000 Controllers Common Procedures*. March/2004.
[9] Rockwell Automation. *Logix5000 Controllers Design Considerations*. May/2004.
[10] Rockwell Automation. *Control Logix Ethernet Communication Interface.* Nov/2000. Pub. 1756-UM051B-EN-P.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 53. Volumen 4(1), 3 páginas.

PROTOTIPO DE BASE PARA LA OBTENCION DE ESFUERZOS EN MATERIAL BIOLOGICO CON DISMINUCION DE DENSIDAD OSEA PREVIAMENTE SOMETIDO A RADIACION ELECTROMAGNETICA

Ma. Lourdes Cortés Ibarra[1], José Antonio Mondragón Herrera[1], Fernando Navarro Gil[1], Adriana Sarahí Rodríguez Gasca[1], Carlos Eduardo Rodríguez León[1], Jovanni Salazar Peralta[1]

Resumen

La osteopenia y la osteoporosis son palabras conocidas para muchas personas mayores y el diagnóstico de una pérdida grave de masa ósea, como lo es la osteoporosis, puede causar mucha ansiedad, ya que esta condición generalmente significa que los huesos de una persona se han debilitado y son más propensos a quebrarse o fracturarse, para determinar la disminución de esta masa se hacen diferentes pruebas de fuerza, tensión, tiempo, donde para validar su efectividad se propone el diseño y construcción de un dispositivo de medición de pruebas de esfuerzo para cuantificar el grado de pérdida de densidad en material biológico, el cual fue tratado con la técnica de radiación electromagnética.

Palabras clave: Esfuerzo, osteoporosis, radiación

Summary

Osteopenia and osteoporosis are familiar words to many older people and the diagnosis of a severe loss of bone mass, such as osteoporosis, can cause much anxiety, as this condition usually means that a person's bones have weakened and are more likely to break or fracture, to determine the decrease of this mass are different tests of strength, voltage, time, where to validate its effectiveness proposes the design and construction of a device for measuring stress tests to quantify the degree loss of density in biological material, which was treated with the technique of electromagnetic radiation.

Keywords: Stress, Osteoporosis, Radiation

Introducción

En México el 16% de la población mayor de 35 años de edad sufren descalcificación de los huesos, es decir, osteoporosis. En el proceso de esta enfermedad se van perdiendo poco a poco minerales, más que nada calcio. Hablamos de osteoporosis cuando la masa del hueso se ha reducido de manera tal que fácilmente pueden surgir fracturas sobre todo de vértebras, muñecas y cadera que pueden romperse por pequeños accidentes o golpes[1].

La resistencia a la fatiga de un material se determina normalmente sometiendo el material a una tensión cíclica y determinando el número de ciclos a fractura. Algunos resultados parecen demostrar que existe una gran dependencia de la vida a fatiga con la amplitud de deformación cíclica, más que con la tensión máxima o la deformación máxima soportada por el hueso. Estos resultados parecen sugerir que la fatiga del hueso es considerable a la que se creía anteriormente, lo que significa que el hueso está constantemente acumulando daño por fatiga durante la actividad normal y por consiguiente es necesario que se produzca un proceso de remodelación ósea para poder mantener la integridad estructural a largo plazo del sistema esquelético.

Metodología

La metodología propuesta mide la resistencia a la fractura en un hueso diseccionado de un modelo animal que tiene características fisiológicas comparables a las del ser humano [2,3]. Se utilizaron ratas de 10 a 13 semanas con un peso de 300 a 350 g.

[1] Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional. Av. Acueducto s/n, Col. Barrio La laguna Ticomán C.P. 07340, México, D.F. Teléfono 57 29 60 00 Ext. 56334. E-mail: mcortesi@ipn.mx

A las ratas se les practicó OVx (ovariectomía), la cual provoca un aumento de la ingestión diaria y una disminución de la actividad física seguidos de un incremento en el peso corporal y en la adiposidad. Lo anterior con el fin de provocar menopausia temprana que aunado a una dieta baja en calcio provoca una pérdida de masa ósea [4].

La técnica empleada para evitar la resorción ósea es PEMF (campo electromagnético pulsado), radiación electromagnética de bajas frecuencias con la cual validaremos que se evita una progresión de la perdida de masa ósea [5,6,7].

Se ha construido un prototipo (Fig. 1) para la medición de descalcificación en huesos largos de ratas *Wistar*, las cuales fueron tratadas para validar que la técnica de radiación electromagnética se puede utilizar como alternativa para evitar la progresión de osteoporosis.

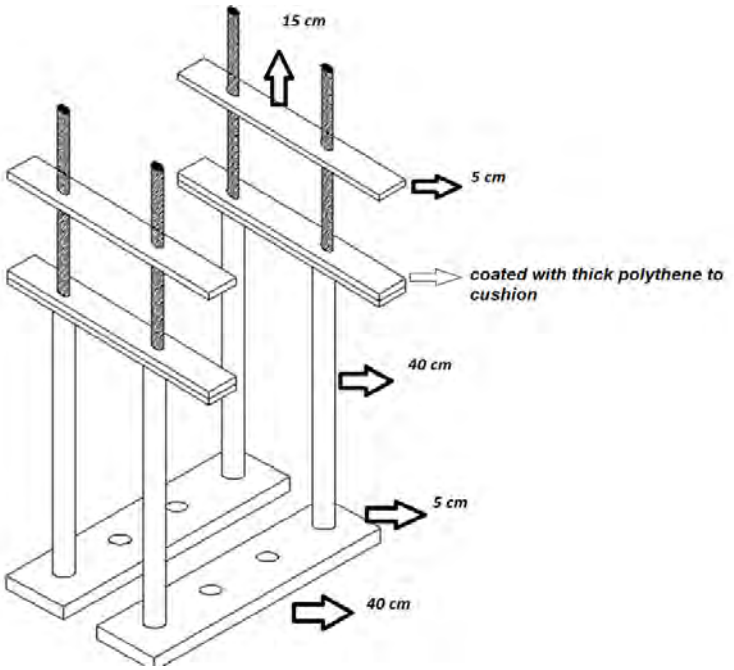


Figura 1. Prototipo base para huesos largos

Debido a que los equipos para medición de esfuerzos comerciales son grandes para el tamaño de muestras que estamos tratando, se ha propuesto una base ajustable para huesos largos de rata, con posibilidad de ajuste para diferentes dimensiones.

La base está conformada por dos barras cilíndricas de cada lado que se encuentra atornillada a una superficie metálica que contiene 3 opciones de perforaciones con cuerda para darle la dimensión adecuada para el análisis de material biológico. Estas barras cilíndricas contarán con una base metálica a una altura aproximada de 40 cm para el soporte del objeto de análisis.

El material previamente seleccionado se coloca en las barras horizontales y será la probeta donde se aplicará el esfuerzo del orden de cero a 200N para validar con muestras sanas, y con aquellas que han sido tratadas con PEMF.

Se le agregará pesos proporcionales en cada medición para su estudio, hasta llegar al punto de ruptura, donde se dará por terminado la experimentación. La gráfica que se analizará posteriormente es *Resistencia (N) - Desplazamiento (mm)*.

Resultados

Se ha construido un prototipo para la medición de esfuerzos en hueso largo (fémur, tibia) con el que tendremos un parámetro confiable para la cuantificación de pérdida de densidad ósea.

En la Fig. 2 se muestra una gráfica de esfuerzo deformación obtenida con el prototipo de una muestra sana, siendo este el primer planteamiento para saber la magnitud del esfuerzo que aplicaremos a las distintas muestras tratadas, y así llevar a cabo las comparaciones para posteriormente realizar la calibración del dispositivos construido, lo que nos da pie a realizar ajustes en el prototipo y con esto perfeccionar la técnica planteada.

Se realizarán pruebas en 5 grupos de 8 ratas para tener una muestra estadística válida y comparativa.

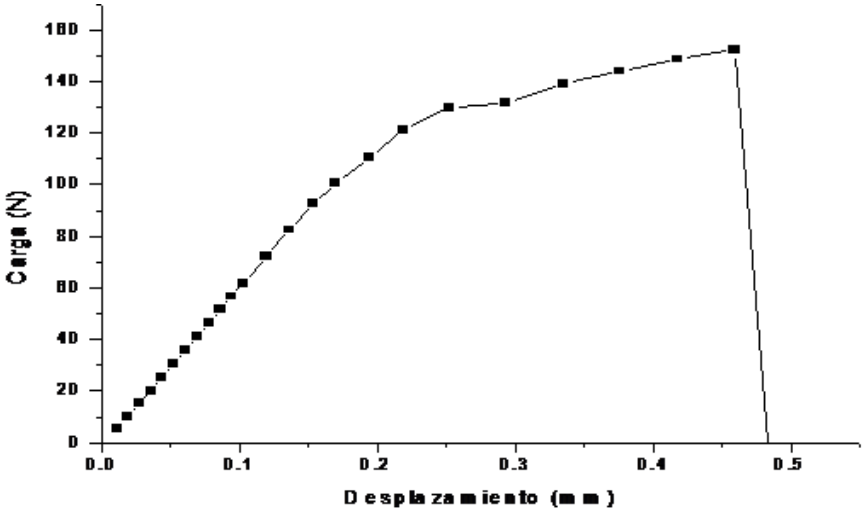


Figura 2. Respuesta de carga en Newtons vs Desplazamiento en mm de una muestra sana.

Conclusión

La construcción de este prototipo, nos permitió tener un soporte acorde a las medidas requeridas. Con esto se han desarrollado habilidades para analizar parámetros en tejido biológico que se ha tratado para evitar la progresión de osteoporosis.

Referencias

[1] Diez GP, Reman L. SR, Cano S M A, Estrada L E, Vega G I F, Zavala R J, (2002) "Tratamiento de las fracturas no-unión y en el retardo de la consolidación con aplicación de la magnetoterapia". Revista Mexicana de Medicina Física Y Rehabilitacion,;14:26-30.

[2] Bioterio de experimentación animal de la Universidad del Tolima.

[3] Universidad Nacional Autónoma de México. *"Manual de prácticas de fisiología animal*". Facultad de Medicina veterinaria y zootecnia 1980.

[4] Puerta Marisa, "Los esteroides sexuales femeninos y el equilibrio energético". Departamento de Fisiología Animal, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Complutense de Madrid. Rev Esp Obes 2005; 3 (4): 183-193.

[5] Chang K, Walter H-S, Y-Hn Yu, Chung S. (2003). *"Effects of Different Intensities of Extremly Low Frecuency Pulsed Electromagnetic Fields on Formation of Osteoclast Cells"*. Bioelectromagnetics 24:431-439.

[6] Chang K, Chang WH, Huang S, Huang S, Shih C. (2005). "Pulsed Electromagnetic Fields Stimulation Affects Osteoclast Formation by Modulation of Osteoprotegerin, RANK Ligand and Macrophage Colony-stimulating Factor". Department of Biomedical Engineering, Chung-Yuan Christian University, Chung-Li 32023, Taiwan, J Orthop Res. Nov; 23(6):1308-14.

[7] Griffin XL, Costa ML, Parsons N, Smith N. (2011), "Electromagnetic Field Stimulation for Treating Delayed Union or Non-union of Long Bone Fractures in Adults". Warwick Orthopaedics, Warwick Medical School, University of Warwick, Clinical Sciences Building, Clifford Bridge Road, Coventry, UK, CV2 2DX, Cochrane Database Syst Rev. Apr 13;(4):CD008471.

EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 54. Volumen 4(1), 10 páginas.

DESARROLLO DE UN REMOVEDOR PARA LA PLANTA PRODUCTORA DE COMPOSTA

Pedro Francisco Huerta González[1], Ivone Cecilia Torres Rodríguez[2], Zósimo Ismael Bautista Bautista[3]

Resumen

El presente trabajo presenta la metodología para el desarrollo de un equipo removedor de materiales orgánicos composteables considerando un concepto de solución sometido al análisis de la operación de la producción de composta. Con este removedor se contribuirá en la producción de abono orgánico para el fortalecimiento de los cultivos y áreas verdes con una mínima contaminación en su producción. Sistematizar las condiciones apropiadas tecnológicas, metodológicas y estructurales, como principios para la reingeniería de una planta de producción de composta que procese el 100 % de los residuos biodegradables que se generan en las instalaciones del Instituto Politécnico Nacional en el Distrito Federal.
Palabras clave: Composta, PLC, removedor.

Summary

This paper presents the methodology for the development of a team remover composted organic materials considering a solution concept to be analyzed for the operation of the production of compost. This remover will help in the production of organic fertilizer to strengthen crops and green areas with minimal pollution output. Appropriate conditions systematize technological, methodological and structural as principles to reengineer a composting plant to process 100% of biodegradable waste generated in the facilities of the National Polytechnic Institute in Mexico City.
Keyword: Compost, PLC, Remover.

Introducción

En el mundo en la actualidad surge la necesidad de intensificar la labor de procesar los desechos de poda y jardín de árboles, plantas, tierra y hojas, debido a los niveles de contaminación y a la falta de abonos orgánicos que no contengan químicos para el fortalecimiento de los cultivos y áreas verdes. Dentro del país la creación y multiplicación de plantas procesadoras de composta con niveles de producción altos ayudaría en el tratamiento de estos materiales los cuales en la actualidad todavía se desperdician, con la finalidad de generar abonos orgánicos para fortalecer la tierra [1].

A nivel D.F. con una estructura de producción de alta capacidad se podría llegar a procesar no solo los materiales de la institución sino a niveles delegacionales para la mejora de las áreas verdes, tomando en cuenta necesidades, como una mayor extensión en el terreno de tratamiento, para el proceso. A nivel del Instituto Politécnico Nacional el fortalecimiento de la estructura de la actual planta de composta, mediante la reingeniería mecanización y financiamiento además de reducir costos por disposición en el relleno sanitario, podría ofrecer ingresos sustantivos por la oferta de volúmenes constantes y una mejora en el producto (composta), o reducción de egresos por la compra de fertilizantes convencionales, para las áreas verdes del Instituto Politécnico Nacional.

Desarrollo del removedor

En la actualidad existen diversos mecanismos en el mercado para remover materiales orgánicos [2], con diferentes características, las cuales no cumplen con los requerimientos buscados por la planta de composta del Instituto Politécnico Nacional, además de ser equipos bastante costosos.

[1,2,3] IPN ESIME Zacatenco Ingeniería en Control y Automatización, México D. F, (55) 5729 6000 ext. 54062.
E-mails: [1] phuertaglez@hotmail.com , [2] ictorres@ipn.mx , [3] zbautista@ipn.mx

Por ésta razón se diseña un equipo que cumpla en la totalidad con los requerimientos de la planta, se analizará cada una de las partes que conformarán el diseño de éste equipo, sus partes, los materiales de construcción, dimensiones y características. La constitución física del equipo se muestra en la Fig. 1 en la cual se puede ver el tornillo sin fin, las paredes de la estructura, sensores, tanque de agua torreta de estado de funcionamiento del sin fin, así como las llantas que ayudarán al removedor a su desplazamiento.

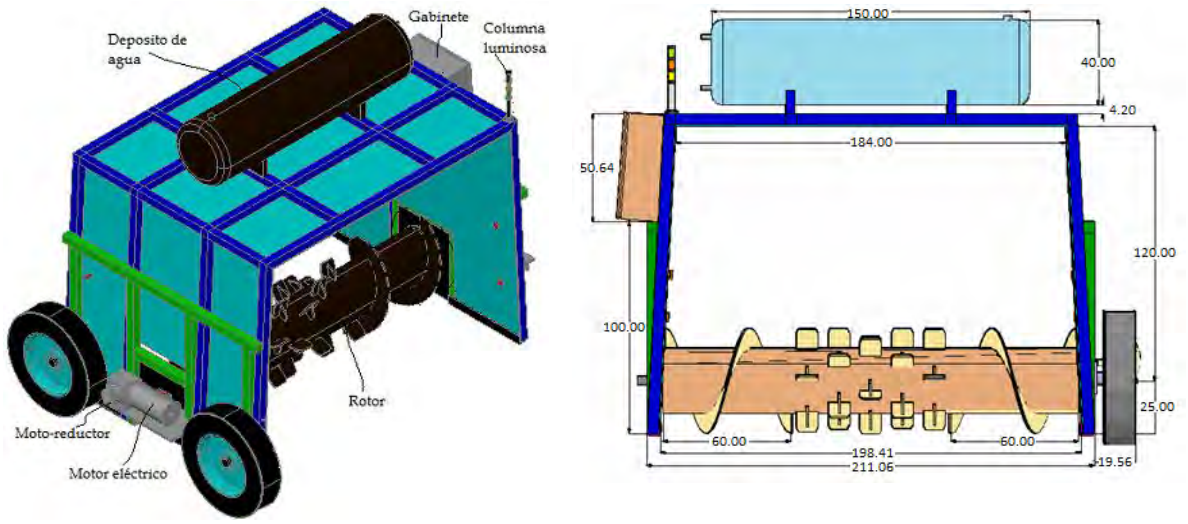


Figura 1. Constitución física del removedor.

Estructura

La estructura metálica del equipo se puede ver en la Fig. 2, la cual está integrada por PTR (A576-36 de calidad estructural) de 2 x 2" calibre 10, que equivale a un área transversal de 3.404 mm y por ángulo de 2 ¼ x 2 ¼ x 3/8". La función de esta estructura es la de dar rigidez al equipo, además de proporcionar soporte para los demás elementos que conformaran a la máquina. El esqueleto esta soldado en su totalidad e integradas a las paredes del equipo que está conformada por tres laminas (placa de acero de 3/16") con medidas de 1.50 x 1.45 m para la pared izquierda y derecha, y la tapa superior con medidas de 1.50 x 1.83 m. Su función es contener el material de la pila y proporcionarle la forma que se desea, además de que por poseer una sección transversal de 3/16" también aporta rigidez a la estructura y en el caso de los costados sirven como bases para los sensores.

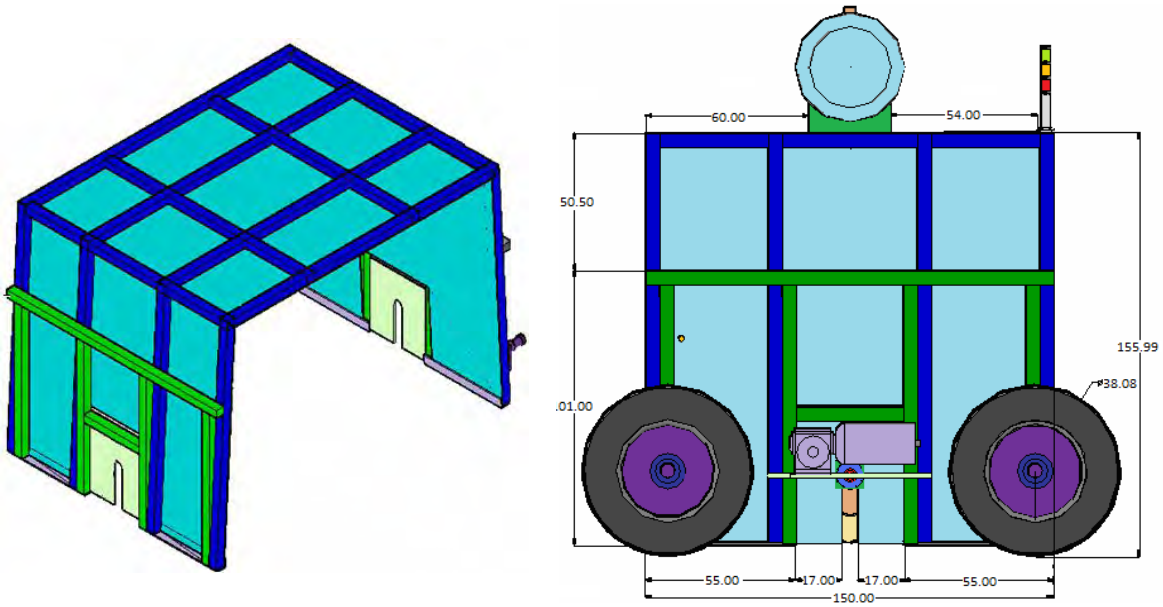


Figura 2. Estructura del removedor.

Rotor

En la Fig. 3 se muestra el rotor, cuya base se fabrico con tubo mecánico de 12" de diámetro con paredes de 1/4", su función es la de soportar los demás elementos que constituirán al rotor, con medidas de 0.3 m de diámetro x 1.84 m de largo [3].

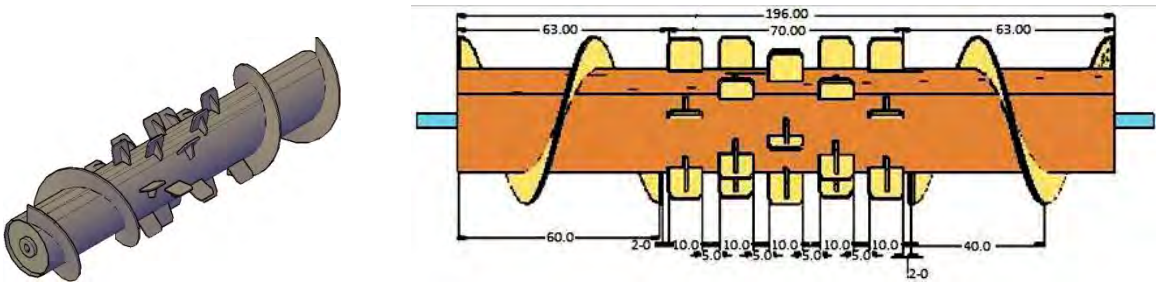


Figura 3. Vista general del rotor.

Con la placa de acero A-36 de 5/8", se fabricaron las paletas como se muestra en la figura 4 con dimensiones de 0.1 x 0.1 m en la cara de ataque que se encarga de aventar el material y que se airee de esta forma, en la parte posterior posee un cartabón del mismo material de 0.07 m con un chaflán a 45° para proporcionarle mayor rigidez y durabilidad a éste elemento.

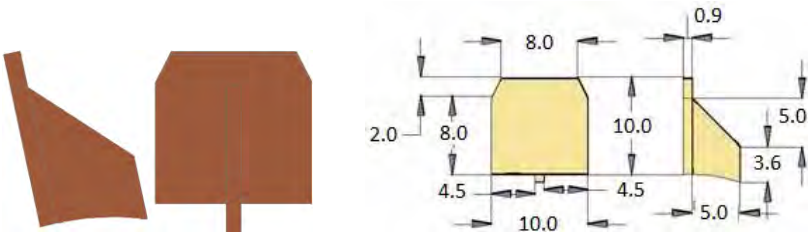


Figura 4. Paletas del sin-fin.

El elemento sin-fin que se muestra en la Fig. 5 es de 0.5 m de diámetro exterior y de 0.3 m de diámetro interior con un avance de arrollamiento de una vuelta y media en 0.6 m, éste tiene la finalidad de desplazar el material que se encuentra en los extremos y alimentar las paletas.

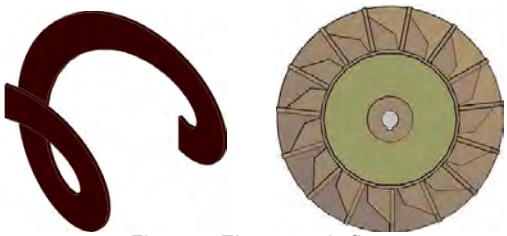


Figura 5. Elemento sin-fin.

La chumacera de hierro colado (Fig. 6) con dimensión del zócalo de 0.1 x 0.1 m y cuatro barrenos para tornillos de ½" en la parte concéntrica contiene opresores de 3/8", y cumplen la función de sujetar la flecha de 1½".

En la Fig. 7 se muestra la tapa del sin-fin con dimensiones de 0.293 m de diámetro exterior y un barreno interior de 0.06 m de diámetro exterior, tiene la finalidad de centrar el tubo mecánico así como evitar la entrada de residuos al interior del tubo, también se observa el mamelón, con 0.1 m de diámetro exterior y 0.0381 m de diámetro interior y una ranura para alojar una cuña de ½", la cual sirve para enlazar el movimiento mecánico entre la flecha y el rotor, está maquinado en placa de 1½" con una pestaña de 0.02 m.

Figura 6. Chumacera de pared para flecha de 1½"

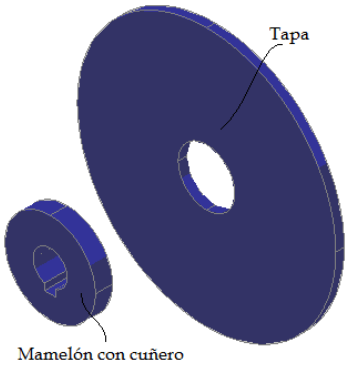


Figura 7. Mamelón con cuñero y tapa.

Finalmente en la Fig. 8 se muestra el soporte del rotor, el cual se fabrico en placa de 5/8" con dimensiones de 0.398 m de base y 0.45 m de altura, la cual posee una ranura de 0.06 x 0.25 m en la parte central de esta y termina en un barreno de 0.03 m de diámetro, esta ranura sirve para deslizar la flecha y poder instalar el rotor, su la principal función es la de proporcionar una pared de base para la chumacera de pared [3].

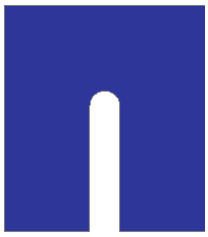


Figura 8. Soporte del rotor

Automatización del removedor

Sistema eléctrico del removedor

El removedor de pilas de material orgánico toma la energía eléctrica del sistema eléctrico de la máquina que lo mueva. Para esto se requiere modificar el sistema eléctrico del tractor, como se muestra en la Fig. 9 [4].

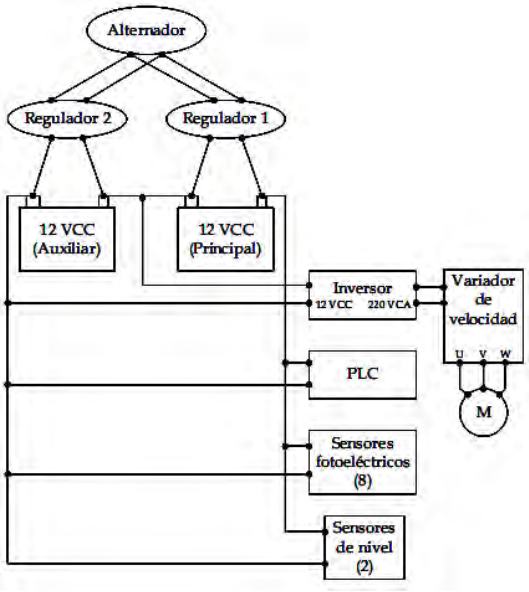


Figura 9. Diagrama de bloques del sistema eléctrico del removedor de pilas de material orgánico.

En la Fig. 9 se muestra el diagrama de bloques de las conexiones de suministro de voltaje que se realizaron del alternador, a los reguladores que pasan a las baterías, en donde se añadió el regulador 2 y la batería auxiliar. Como se observa en la figura 9, el inversor suministra 220 VCA que alimentan al variador de velocidad el cual acciona al motor. Asimismo, el controlador lógico programable (PLC) y los sensores fotoeléctricos y de nivel se conectan a las baterías suministrándoles 24 VCC para su funcionamiento [5].
La primera conexión se realiza del alternador (etapa de potencia) a un inversor (etapa de inversión) que está constituido de un rectificador de diodos que a la salida se conectan a un regulador (etapa de regulación) el cual mantiene la tensión en 12 VCC, al mismo tiempo se encarga de verificar el estado de carga de las baterías (etapa de almacenamiento) para prevenir que éstas se queden sin carga o sufran calentamientos por sobrecarga (ver Fig. 10).

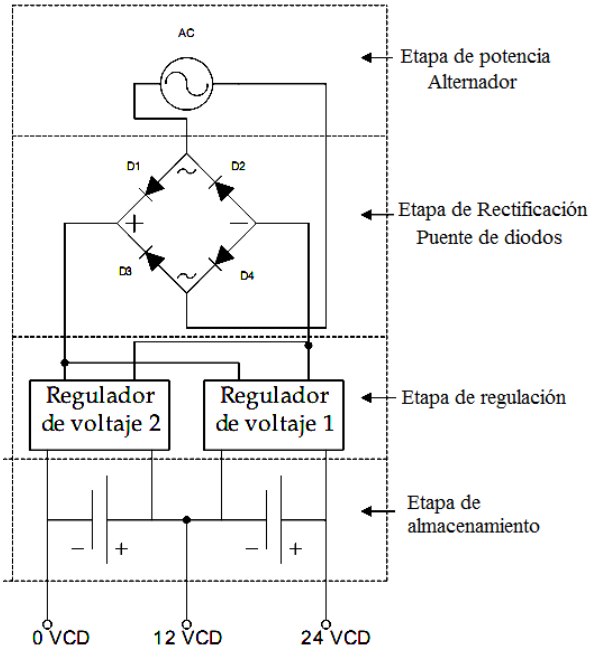


Figura 10. Generación de energía eléctrica.

Alimentación del variador

El sistema eléctrico del removedor de pilas se divide en dos partes una de 220 VCA, la cual se encarga de suministrar energía eléctrica al variador de velocidad y a su vez al motor que impulsa al rotor [6].

La potencia eléctrica que requiere el variador de velocidad es de 220 VCA, pero como el tractor tiene una batería de 12 VCC, la cual constituye la otra parte del sistema eléctrico, se tuvo la necesidad de utilizar un inversor, el cual es un dispositivo electrónico que convierte la corriente alterna a directa [6]. A la salida del inversor se tiene una tensión de 220 VCA a 60 Hz, con la cual se alimenta el variador de velocidad. De lo anterior se tiene, el siguiente diagrama donde se muestran las características de entrada y salida de cada uno de los dispositivos (ver Fig. 11).

Alimentación del PLC y sensores

En la Fig. 12 se muestra el PLC MicroLogix 1100 de la marca Allen Bradley, en las entradas digitales 0 a 7 se conectaron los sensores fotoeléctricos y en las dos restantes los sensores de nivel del tanque. Todos los dispositivos se alimentaron con 24 VCC.

El removedor contiene ocho sensores fotoeléctricos que se instalaron a diferentes alturas de la pila para garantizar la presencia de la misma. Los sensores están colocados de la siguiente forma: cuatro en la parte frontal del removedor y los otros cuatro en la parte trasera a diferente altura, nombrados (VFD1-Visión frontal derecha, VPI1 visión posterior izquierda)

Al momento de que se sensa, el PLC recibe esta información y envía la señal al variador accionando al motor de inducción para que inicie la rampa de aceleración, en el instante que se activan los ocho sensores posteriores, el variador suministra el valor de velocidad nominal, y se mantiene en ese estado hasta que se

desactivan los sensores frontales lo cual indica el termino de la pila, aquí se inicia la rampa de desaceleración, en el momento que ningún sensor éste activado se detiene el equipo [7]. La figura 13 muestra una vista del equipo, dando la ubicación de los sensores.

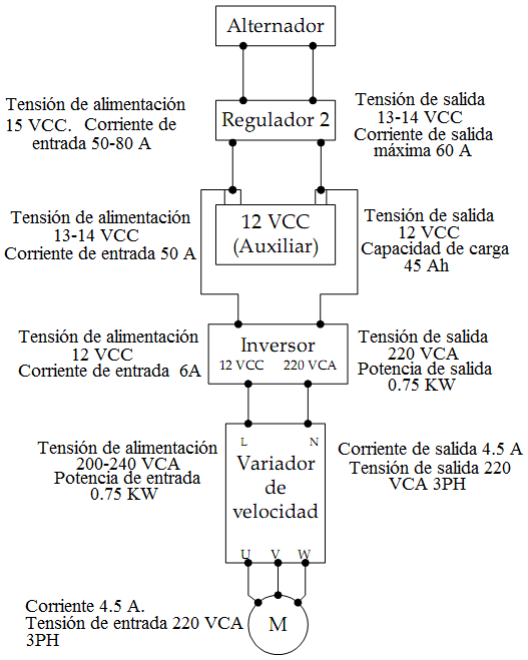


Figura 11. Diagrama de bloque del sistema eléctrico.

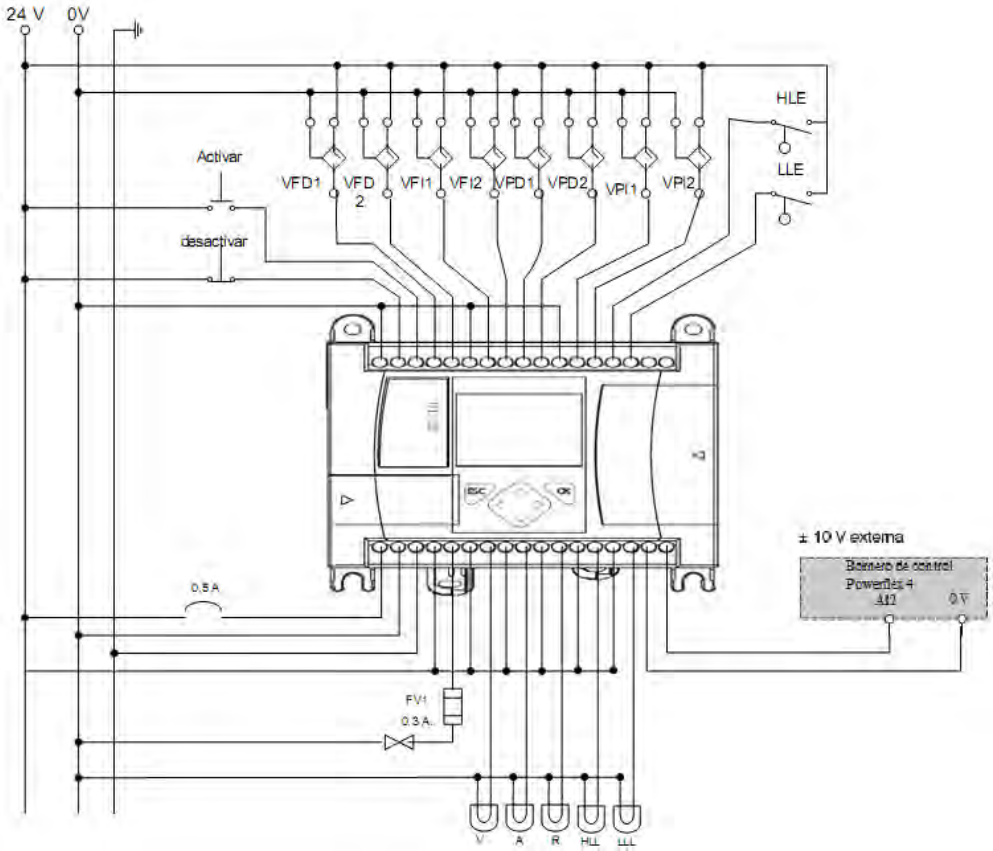


Figura 12. Diagrama de bloque del sistema eléctrico.

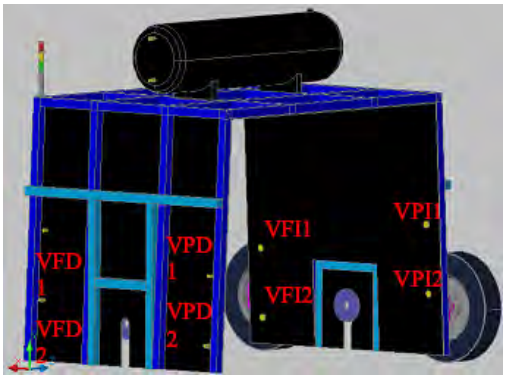


Figura 13. Posición de los sensores en el removedor.

Además, se requieren dos sensores de nivel dentro del depósito de agua del removedor, uno de ellos se coloca a 10 cm del fondo del depósito (LLE) que indica el nivel bajo del depósito y el otro se ubica a 10 cm debajo de la capacidad total del depósito (HLE).

También se instalo una torreta de señalización que consta de tres niveles para indicar el estado de operación del rotor del equipo. El primer nivel consta de un indicador verde, el cual indica que el equipo esta activado, pero que el rotor no está girando; el segundo nivel tiene un indicador ámbar, en donde el rotor está girando en baja revolución, con una rampa de aceleración o desaceleración, el ultimo nivel comprende un indicador rojo, que está indicando cuando el rotor está operando a máxima velocidad o a su velocidad nominal de trabajo, la cual solo debe de presentarse cuando el rotor éste completamente rodeado de material de la pila.

Los estados de los indicadores se controlan por el PLC, así como los perfiles de movimiento del rotor, que está integrado por la rampa de aceleración, velocidad nominal y rampa de desaceleración que se programaron en el PLC a través del registro N7:1 (ver Fig. 14) [8]. Esto se lleva a cabo con tres salidas que interactúan con el registro N7:1, el cual también se linealiza para referirlo a una salida analógica del PLC, la cual es enviada con valores de 0-10 V como señal de referencia para el variador de velocidad. Cuando el registro está incrementando su valor, es cuando la rampa de aceleración esta ejecutándose, por lo tanto una bobina se activa para energizar una salida de PLC, la cual activa al indicador ámbar; cuando el registro alcanza su valor máximo, se desactiva la primer salida y se activa una segunda salida, la cual energiza al indicador rojo; cuando el valor del registro está descendiendo, nuevamente se activa la primer salida para indicar que el rotor está disminuyendo su velocidad; por otro lado cuando el valor del registro es cero se energiza una tercer salida, la cual activa al indicador verde para indicar que el rotor no está funcionando.

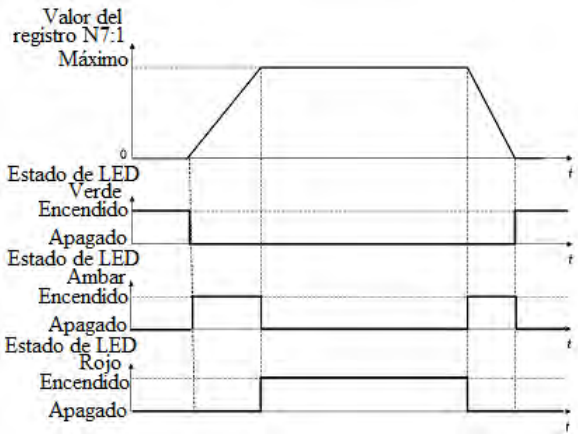


Figura 14. Perfil de movimiento del rotor y estado de la torreta de señalización.

Resultados

Una vez planteado el diseño y la automatización del removedor, se desarrolló la metodología para la producción de la composta. En la Fig. 15 se muestra el diagrama de flujo que proporciona los pasos a seguir para la obtención de la composta.

Por lo tanto, se inicia con el registro del material que llega a la planta, seguido de la entrada al área de descarga, donde según el tipo de material se lleva a su destino, ya que se tienen los siguientes casos:

- Mandar el material al área de fermentación donde se envía al proceso.
- Mandar a residuos no composteables a donde llegara el material que saldrá al relleno sanitario debido a que no es utilizado en el proceso.
- El material que tiene un tamaño grande se envía al área de trituración donde se almacena para ser molido en la siguiente fecha establecida para éste fin.

Una vez formada la pila se deja por siete días para llevar a efecto la primer remoción (revoltura), de los componentes así como humedecerla uniformemente a un 60%, realizándose esta operación cuatro veces, en cada una de estas ocasiones se toman datos de las condiciones de humedad, pH y temperatura que son datos fundamentales para obtener composta de calidad, todo esto se da dentro de los formatos de tratamiento de las pilas de composta.

De acuerdo a la propuesta de diseño de la planta, como se observa en la Fig. 16, el área de fermentación está dividida en columnas A y B así como en diez filas, las cuales sirven para identificar el lote en el cual se está desarrollando cada pila, teniendo 20 pilas por ciclo.

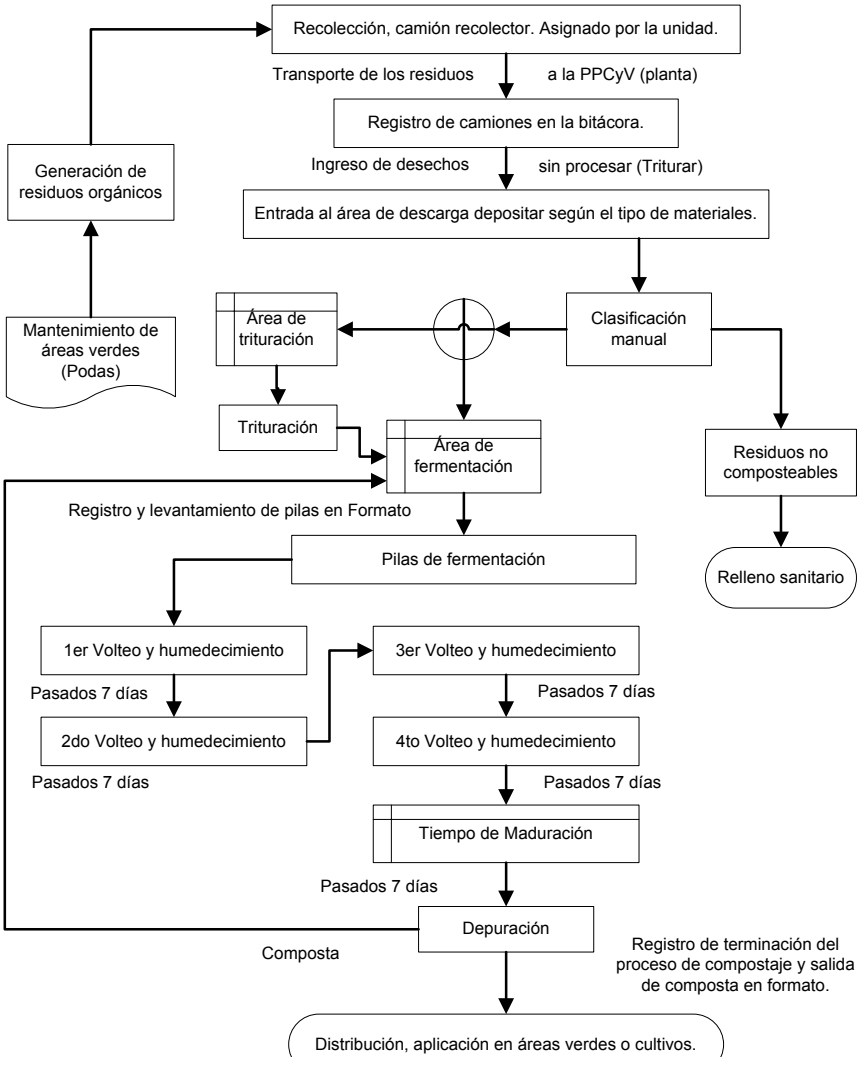


Figura 15. Diagrama de flujo para la obtención de composta en la planta del IPN.

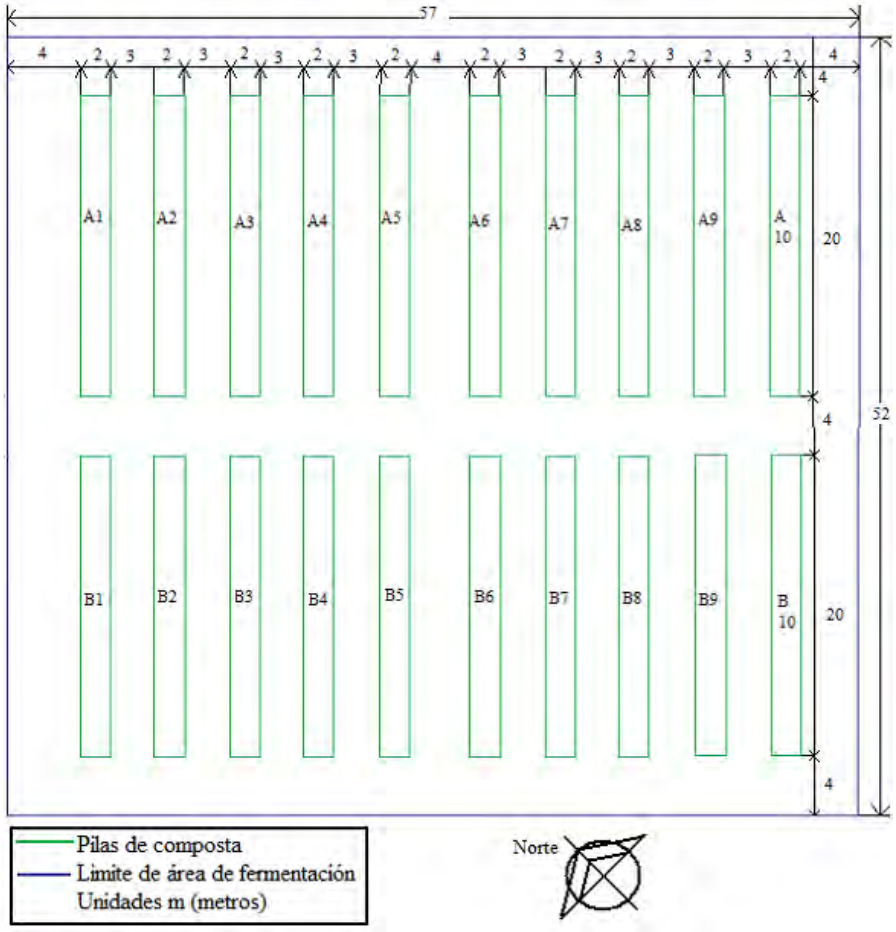


Figura 16. Diagrama de distribución.

De acuerdo a la operación de la máquina removedora de composta, el plan de trabajo se planteo de 6 meses, del cual se determinó que cada lote puede desarrollar 4 ciclos de trabajo, esto multiplicado por el segundo semestre del año, se tiene un total de 8 ciclos de trabajo en un año, considerando que cada pila produce 20 toneladas en cada ciclo, cada lote puede producir un total de 160 toneladas anuales, si se multiplica éste factor por el número total de lotes que posee la planta se obtiene que la planta tendrá una capacidad de 3,200 toneladas.

Conclusiones

Con la realización de este trabajo se obtuvo el diseño de un removedor de materiales orgánicos que utiliza tecnología actual para eliminar el cuello de botella que en este momento se tiene, ya que el problema es que la revoltura y humedecimiento del material se realiza manualmente.

Haciendo esta operación semiautomática se lleva a cabo de una forma rápida y con un menor desgaste para el personal, así también solo se necesita de un empleado para realizar esta actividad, dándole la oportunidad a los nueve empleados mas que se utilizan hasta este momento para desarrollar alguna otra actividad, como es la integración de pilas, separación de materiales, captura de datos al programa de inventarios entre otras. Cabe mencionar que la propuesta de la automatización a través del controlador lógico programable y el variador de velocidad es una alternativa factible para mejorar el funcionamiento de esta planta.

Referencias

[1] Sternz, D. *Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos.* 1999. Organización panamericana de la salud. Organización mundial de la Salud.

[2] Espinoza Valdemar, R. M. *Reaprovechamiento de la materia organica.* Diciembre 2005. ARBOREA Órgano Informativo de la Asociación Mexicana de Arboricultura.
[3] Olvera, E., Rosas, H., "Integración de la planta de composta del IPN y diseño de un removedor de materiales orgánicos composteables" Tesis, 2008.
[4] Enriquez Harper, G,. *Control de motores Eléctricos*. 2007. Editorial Limusa.
[5] Chapman Stephen, J. Máquinas Elécricas. 2000. Editorial Mc Graw Hill.
[6] Manual del Micrologix 1100. Enero de 2008. www.rockwellautomation.com.
[7] Manual de Sensores. Enero de 2008. www.rockwellautomation.com.
[8] Manual del variador de velocidad Power Flex. Enero de 2008. www.rockwellautomation.com

Proyecto JICA y I.T.Q.

JICA es Agencia de Cooperación Internacional del Japón

¿Qué es JICA?

La agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) es un organismo ejecutor de la Cooperación Internacional del Gobierno del Japón, establecida en 1974. A través de la integración de la sección encargada de la cooperación económica con el extranjero del Japan Bank for International Cooperation (JBIC) fue inaugurada la Nueva JICA el 1° de octubre del 2008.

Además de la Oficina Central en Tokio y sus 17 oficinas domesticas, JICA cuenta con una red formada por más de 100 oficinas en el extranjero, y ha implementado proyectos en aproximadamente 150 países del mundo.

JICA ofrece asesorías a las instituciones u organizaciones interesadas en solicitar Cooperación.

要請内容 — La Petición I.T.Q. ⇨ JICA

Avanzar con calidad para hacer las piezas de Plastico

Instruir técnica para producir Molde de Plástico

He estado enseñando técnica para hacer Moldes de Inyección de Plástico. Cuando llegué a I.T.Q. de Querétaro.

¿ QUE ES MOLDE ?

Usar molde que hacer para muchas cosas son calidades y diseños que son mismos .

EJ : Usar este cosa para hacer muchos hielos que son mismos tamaños

Podemos mirar unas cosas en México

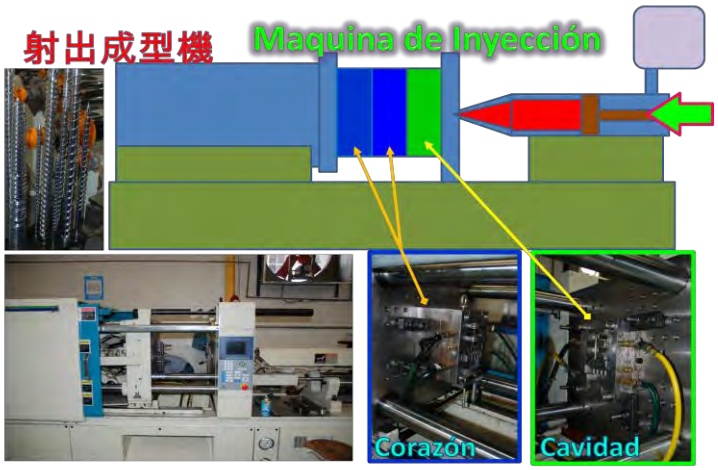
USAR UNOS MOLDES PARA HACER EL COCHE

Este son Plásticos

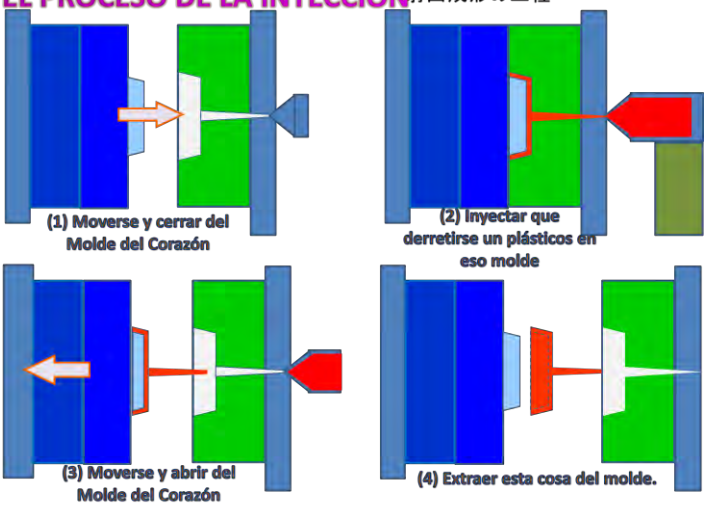
- Molde de Vidrio - ventana
- Molde de fundición — Motor
- Molde de prensa de embutir - cu
- Molde de Forja - Suspención
- Molde de Goma - Cubiertos
- Molde de Daicasto - Ruedas

La Maquina de Inyección

射出成型機 Maquina de Inyección



EL PROCESO DE LA INYECCIÓN 射出成形の工程



Proyecto
JICA y I.T.Q.

Proceso de Diseño

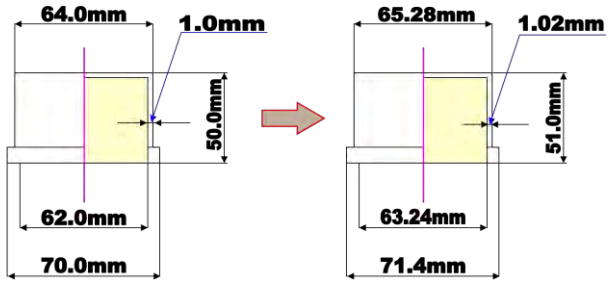
1- . Hacer diseño de la pieza

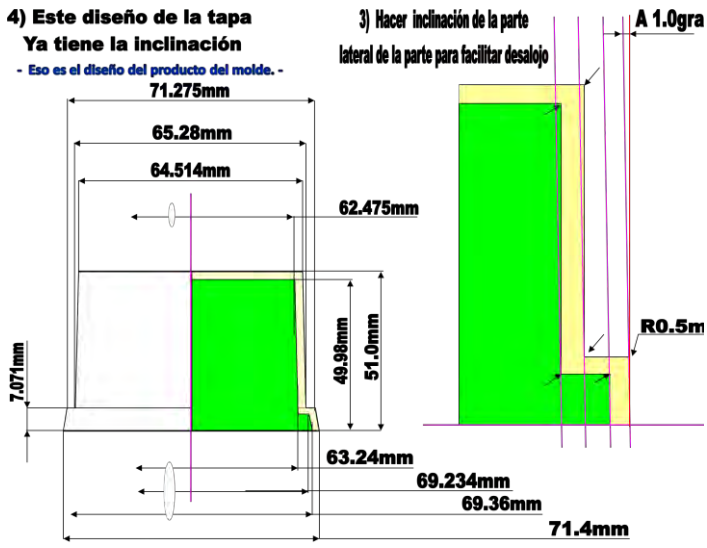
Eje : Realizar diseño de una tapa

1). Bosquejarlo en tamaño igual

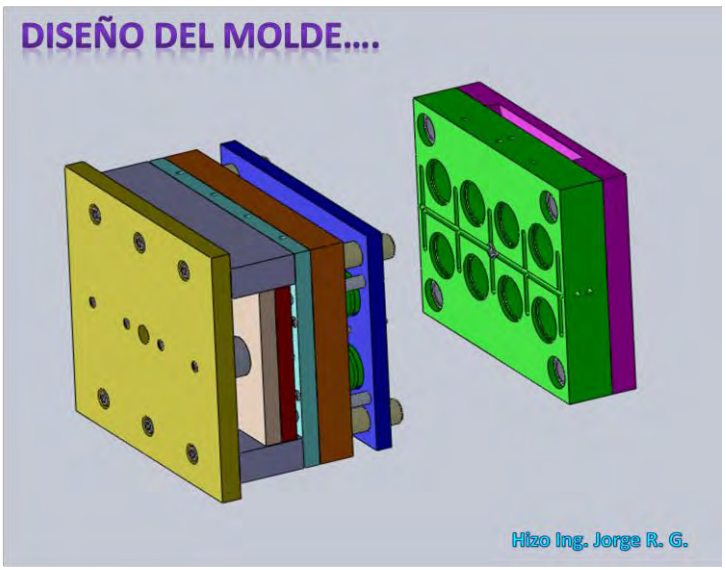
2). Medir una tapa y tamaño X 1.02 ó 1.03

Eje : 1.00mm ⇨ 1.02mm





2- Diseñar Molde de plástico para producir las tapas.



Hacer el molde del plástico

1- Hacer las placas y las piezas

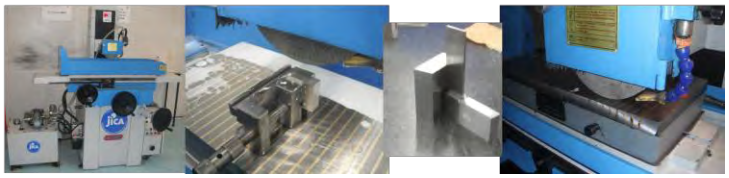
3- Confirmar las piezas y las placas

Conjunto de una pieza y una placa

4- Hacemos montaje de este molde

5- Hacemos intentar este molde

6- Hacemos mejor y intentar este molde 6 veces . Ahora estas piezas son bien.



4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 57. Volumen 4(1), 8 páginas.

DESARROLLO TECNOLÓGICO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA TRANSMISIÓN DE UN MINITRACTOR AGRÍCOLA

Juan Roberto Rodríguez Bello[1], Abraham Rodríguez Galeotte[2]

Resumen

Con el objeto de avanzar en el desarrollo de tecnología propia, en el presente documento se propone una metodología que cumpla con las necesidades básicas para crear una transmisión para un minitractor que le sea posible adquirir a los pequeños campesinos que aún en este tiempo, trabajan la tierra con fuerza humana y con fuerza animal, que dentro de los esquemas más avanzados de la producción, no es ya rentable y por ello estos pequeños productores pierden la oportunidad de progresar y de competir, razón por la cual para ellos es mejor buscar otros medios de supervivencia en lugares lejanos a sus sitios de residencia.
Palabras clave: Agrícola, Diseño, Metodología, Minitractor, Transmisión

Summary

In order to advance in the development of own technology, the present document proposes a methodology that fulfills the basic necessities to create a transmission for a *Minitractor* that makes it possible to acquire peasants that still, work the land with human and animal labor, that in the most advanced schemes of capitalist production, are not profitable anymore. Because of it, these producers lose the opportunity to progress and compete, which is the reason why it is better for them to search for means of survival in places distant for their homes (place of residency).
Keywords: Agriculture, Design, Methodology, Mini-tractor, Transmission.

Introducción

En esta época de explosión demo-gráfica y de urgente necesidad de más alimentos, la cantidad de energía apropiada y los tipos de fuentes de energía necesaria para producir alimentos de manera apropiada son tópicos de mucha actualidad. En el hemisferio occidental la reacción a esta problemática ha sido un aumento en eltamaño de los tractores. En algunas naciones en desarrollo el tamaño óptimo y definitivo aún no ha sido determinado, por lo tanto, es responsabilidad prioritaria de los ingenieros desarrollar nuevos y mejores tractores para satisfacer las necesidades de la manera más económica posible. El presente trabajo ha sido realizado pensando en esa meta.

Antecedentes

En la actualidad la tecnología a escala mundial ha desarrollado mecanismos modernos para facilitar el trabajo en todas las áreas, y la agrícola no ha sido la excepción, pero en México, este avance se ha visto frenado quizás por razones políticas o por falta de equipo y capital para programas de desarrollo tecnológico que evitarán la importación de equipos. El *Proyecto TRACTO-SEP* consiste en la fabricación de un minitractor agrícola para efectuar las labores de: barbecho, surcado y cultivo, entre otras y que se adapte a las condiciones de agricultura de minifundio. El tractor se fabricó por primera vez en 1984, mediante un convenio de colaboración entre el *Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca (ITAO),* y la fundación *Self-Help* del Estado de Iowa U.S.A., esto dio como resultado la fabricación de cinco minitractores a los que se les denominó *Chapulín.* En 1989 se asignaron recursos para desarrollar un prototipo con integración de partes nacionales. Durante 1990 se realizó el rediseño del minitractor, se elaboraron los planos de diseño y se fabricó el prototipo con partes nacionales, al cual se le denominó *TRACTO-SEP*.

[1] IPN- UPIITA. Av. IPN 2580, Col. La Laguna Ticomán, C.P. 07738. Tel. 57296000 Ext. 56882. E-mail: jrbello_99@hotmail.com .
[2] Idem. E-mail: egaleotti1935@hotmail.com

Trabajos realizados

En México, la tesis realizada en los años 80's, sobre una metodología para el diseño de una transmisión de un minitractor agrícola, constó de los siguientes capítulos:

Introducción.
1. Planteamiento del problema.
2. Fundamentos para el diseño de la transmisión de potencia.
3. Características principales del tractor agrícola de pequeña potencia, con aplicación al suelo y cultivos del trópico húmedo de México.
4. Metodología para el cálculo de la transmisión mecánica de potencia en el tractor.
5. Desarrollo del programa que efectúa el cálculo cinemático de la transmisión mecánica de potencia, a utilizar en tractores agrícolas con mecanismos para cambio en marchas IV-8.
6. Análisis de resultados.

Conclusiones y recomendaciones.

Como podemos observar, el contenido está un tanto limitado a los cálculos tradicionales de la fecha en que se realizó (1980), además de no involucrar un análisis económico para el cálculo de costos de la transmisión hasta su rendimiento.

Desarrollo de la Metodología.

Análisis experimental del suelo.

Uno de los factores de mayor importancia para el desarrollo de este trabajo, es el suelo en el que trabajará el *minitractor*, que entre sus características más relevantes se encuentran su resistencia al corte, a la penetración, que varían de acuerdo a las condiciones de humedad del terreno.

Para determinar estos valores, se requiere realizar pruebas durante los diferentes periodos del año, ya que la humedad depende principalmente de ellos.

Los suelos en los cuales va a trabajar principalmente el tractor, son:

- Suelo arenoso
- Suelo limo arenoso
- Arcilla seca
- Suelo arcilloso con tepetate.

Otros suelos donde pudiera trabajar son:

- Margo arenoso
- Marga regular
- Barro pesado.

Las pruebas generalmente son las mismas para todos los suelos, entre ellas se pueden mencionar las siguientes, para determinar:

Propiedades físicas: Ensayos y clasificación, consideraciones geológicas, estructura y mineralogía, compactación, propiedades hidráulicas, esfuerzos, consolidación, resistencia al corte y características esfuerzo-deformación, distribución de esfuerzos Introducción al Laboratorio de suelos.

Propiedades de fase: Porosidad, contenido de humedad, pesos unitarios, gravedad específica.

Gradación: Tamizado e hidrometría. Límites de consistencia de Atterberg, compactación, resistencia al corte, compresión incofinada y corte directo.

Permeabilidad: Cabeza constante y cabeza variable, ensayos de consolidación y de compresión triaxial.

Para los suelos en que trabajará el tractor, las pruebas principales fueron las de resistencia al corte y las de penetración, las cuales arrojaron los resultados de la Tabla 1.

Determinación de la potencia necesaria para el arado.

Tracción.

Considerando los datos de profundidad de corte, los tipos de suelo, número de discos y velocidades, se determina, basándose en un modelo matemático, la potencia que requiere el tractor.

$$S = 1 - \frac{V_a}{V_T} \tag{1}$$

donde:

S = Deslizamiento o patinaje.

V_a = Velocidad real de viaje.

V_t = Velocidad teórica de la rueda = $\omega.r$

r = Radio de balanceo de la rueda sobre superficie dura

ω = Velocidad angular de la rueda

Tabla 1. Resultados de las pruebas de resistencia al corte y de penetración.
Fuente: Laboratorio de pruebas para suelo, Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca.
Todos los resultados considerando un 30% de patinaje.

TIPO DE SUELO	Índice de cono (N/cm^2)	
	Húmedo	Seco
- Arenoso	2.8449	3.1920
- Limo arenoso	2.7585	4.1378
- Arcilloso con tepetate	4.6107	5.1012
-Arcilla seca	4.8275	5.5171

El término *radio de balanceo* se define en SAES 296.2 (*Agricultural Engineers Yearbook, 1978*) como la distancia recorrida por revolución del dispositivo de tracción, dividido entre 2π cuando opera a condición cero especificada. La condición cero elegida aquí es el vehículo como una carretera tersa, con carga de barra de tiro cero. Esto difiere de otra condición común de cero, la cual es la condición de autopropulsión y cero carga de barra de tiro en la superficie de prueba.

El punto de fuerza de remolque y los estados de la rueda de tracción son particularmente importantes. Diagramas de cuerpo libre de la rueda para estas dos condiciones se muestran en la Fig. 1.

En la Fig. 1(a) para la rueda remolcada, la reacción *G* del terreno se resuelve en una componente horizontal (la cual para consideraciones de equilibrio debe ser igual y opuesta a al fuerza de remolque *FR* ejercida al centro del eje) y una componente vertical *R* (la cual debe ser igual y opuesta a la carga *W* de la rueda). La componente horizontal de la reacción del piso se supone que actúa a una distancia "*r*" bajo el centro de la rueda. Nótese que *W* incluye al peso de la rueda y cualquier fuerza de reacción vertical proveniente del vehículo donde la rueda está montada. Esta fuerza de reacción vertical será afectada por la transferencia de peso.

Mecánica del tractor agrícola.

El conocimiento de la dinámica y estática del tractor agrícola es importante en el análisis del rendimiento, estabilidad, marcha y manejo del tractor. Esta parte constituye una introducción a estas áreas específicas e intenta enfatizar sus interrelaciones. Por su carácter de introductorio, en este punto se enfatiza en el análisis bidimensional de los tractores con tracción en las ruedas traseras.

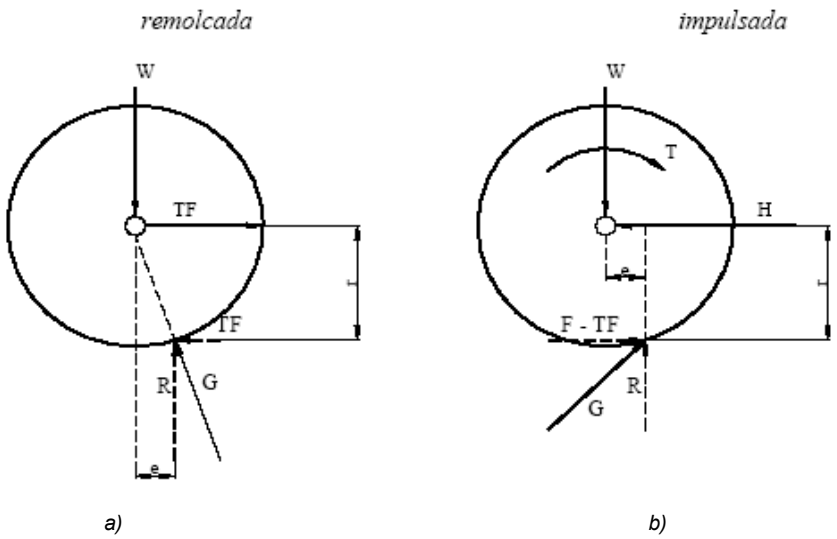


Figura 1 Diagrama de cuerpo libre de una rueda remolcada y de una impulsada.

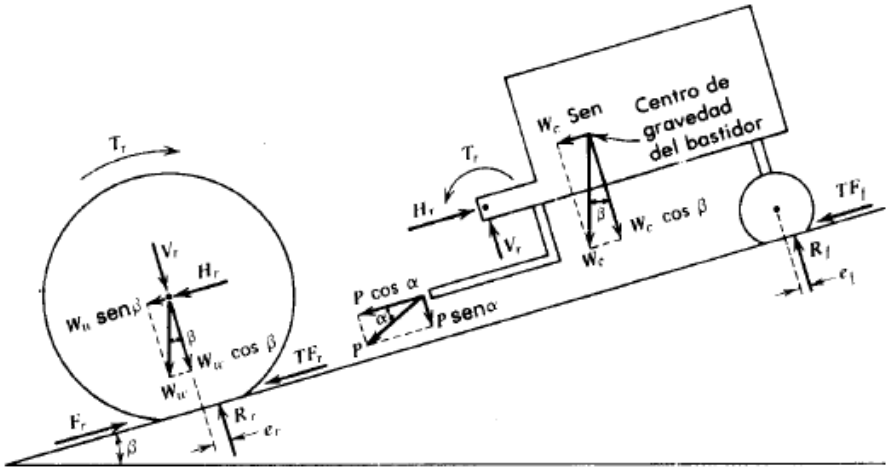


Fig .2. Diagrama de cuerpo libre del bastidor y de las ruedas impulsoras de un tractor de tracción trasera. [3]

Conceptos simplificados.

Los siguientes conceptos simplificados se aplican a los tractores de ruedas impulsoras traseras.

1. La superficie del terreno se supone plana y no deformable.
2. El movimiento del tractor se pude analizar como bidimensional.
3. El movimiento rotatorio de las ruedas delanteras no se toma en cuenta
4. Las fuerzas aerodinámicas no se toman en cuenta.

Ecuaciones de movimiento.

La Fig. 2 contiene diagramas de cuerpo libre de los dos componentes principales del tractor: el bastidor y las ruedas traseras. La mecánica de tracción analizada en el punto anterior permite describir los sistemas de fuerzas que actúan en las ruedas traseras impulsadas y en las ruedas delanteras no provistas de potencia. Los pesos para las ruedas traseras (*Ww)* y el bastidor (*Wc)* se desintegran en componentes que actúan paralela y perpendicularmente a la superficie del terreno. Así mismo la fuerza externa *P* ejercida en la barra de tiro del bastidor, se descompone en una componente paralelo *P cos* α (comúnmente denominado el jalón de la barra de tiro) y una componente perpendicular *P sen* α.

Asignando m_W para la masa de las ruedas traseras y sumando las fuerzas en las ruedas traseras en las direcciones *x* y *z*:

$$m_w \ddot{x}_w = F_r - TF_r - W_w \operatorname{sen}\beta - H_r \tag{2}$$

$$m_w \ddot{z}_w = V_r + W_w \cos\beta - R_r \tag{3}$$

Considerando I_w como el momento de inercia de la rueda alrededor de su centro de gravedad y sumando momentos alrededor del centro del eje trasero (suponer que coincide con el centro de gravedad de las ruedas traseras).

$$I_w\left(\ddot{\phi}_w - \ddot{\theta}\right) = T_r - \left(F_r - TF_r\right)r_r - R_r e_r \tag{4}$$

Sin embargo, en la mecánica de tracción, e_r se considera igual a $(TF_r / R_r)\, r_r$, de manera que la ecuación 4 puede escribirse:

$$I_w\left(\ddot{\phi}_w - \ddot{\theta}\right) = T_r - F_r r_r \tag{5}$$

Teniendo m_c como la masa del bastidor y sumando las fuerzas del bastidor en las direcciones *x* y *z:*

$$m_c \ddot{x}_c = H_r - W_c \operatorname{sen}\beta - TF_f - P\cos\alpha \tag{6}$$

$$m_c \ddot{z}_c = W_c \cos\beta + P\operatorname{sen}\beta\alpha - V_r - R_f \tag{7}$$

Considerando I_c como el momento de inercia del bastidor alrededor de su centro de gravedad y sumando los momentos alrededor del centro de gravedad del bastidor.

$$
\begin{aligned}
&I_c\ddot{\theta} = T_r + H_r h_{1c} sen(\theta_{1c} + \theta) - V_r h_{1c} \cos(\theta_{1c} + \theta) \\
&+ Psen\alpha[h_3 sen\phi + h_{1c} \cos(\theta_{1c} + \theta)] \\
&- P\cos\alpha[h_3 \cos\phi + h_{1c} sen(\theta_{1c} + \theta)] - \\
&TF_f[h_{2c} sen(\theta_{2c} - \theta) + r_f] + R_f[h_{2c} \cos(\theta_{2c} - \theta) + e_f]
\end{aligned}
\tag{8}
$$

La ecuación 7 puede simplificarse, puesto que la mecánica de tracción de las ruedas delanteras sin potencia supone que $e_f = (TF_f/R_f)r_f$.

Las ecuaciones 2, 3, y 5 son las ecuaciones diferenciales de movimiento que regulan los tres grados de libertad que poseen las ruedas traseras para un movimiento plano general. Las ecuaciones 6, 7 y 8 son las ecuaciones correspondientes para el bastidor. Sin embargo la exigencia de que las ruedas traseras estén sujetadas al bastidor implica que los 6 grados de libertad correspondientes (x_w, z_w, $\emptyset_w$, x_c, z_c, θ) no son independientes. Refiriéndose a la Fig. 3, las siguientes dos ecuaciones expresan la relación básica:

$$x_c = x_w + h_{1c} \cos(\theta_{1c} + \theta) \tag{9}$$

$$z_c = z_w - h_{1c} sen(\theta_{1c} + \theta) \tag{10}$$

Las dos ecuaciones básicas reducen 6 a 4 el número de grados de libertad del sistema y así, indican que el sistema de bastidor de rueda trasera (el tractor completo) también puede ser descrito mediante cuatro ecuaciones diferenciales independientes. Estas cuatro ecuaciones pueden ser derivadas de las ecuaciones 2, 3, 4, 5, 6, 7, y 8 por medio de la eliminación de las relaciones internas H_r, V_r, y T_r utilizando las ecuaciones básicas 9 y 10 considerando las relaciones entre la localización de los centros de gravedad de ruedas traseras, bastidor y tractor. Después de algunas operaciones algebraicas es posible determinar las ecuaciones de movimiento para el tractor como un todo. Los diagramas de cuerpo libre y cinemática asociados con estas ecuaciones se muestran en las Figs. 3 y 4. A grandes rasgos esta es la forma de análisis para determinar la potencia necesaria en un tractor con tracción en las ruedas traseras. Que para el propuesto se determinó un valor de 15 C.P.

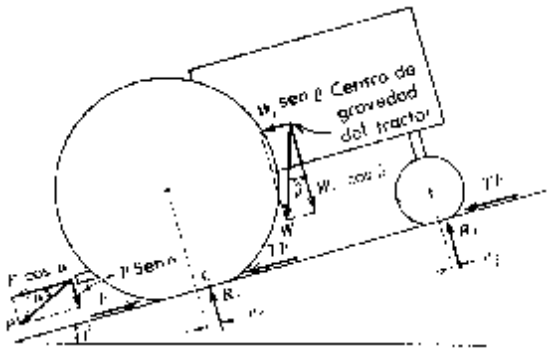


Fig.3. Diagrama de cuerpo libre de un tractor de tracción trasera. [3]

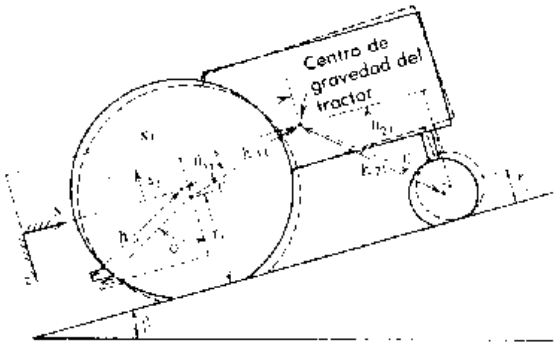


Fig. 4. Cinemática asociada con movimiento planar del tractor. [3].

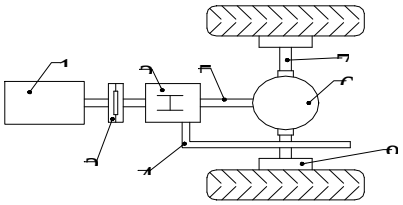


Fig. 5 Esquema de la disposición de los elementos en una transmisión de potencia para tractor.

Para seleccionar el motor, se utilizará la potencia suministrada como referencia, para entrar en el catálogo de motores **KOHLER Engines**, en el cual se encuentra un motor con las siguientes características:

Tipo de Motor: de 4 ciclos, doble cilindro, configuraciones en V, válvula superior, enfriamiento por aire, gasolina, lubricación a presión con filtro de aceite, eje horizontal, cabezal de aluminio y caja de cigüeñal con revestimientos de cilindros de hierro moldeado.

Modelo: **PRO CH15**

Diámetro interno:	90 mm	Carrera:	67 mm
Desplazamiento:	426 cc	Potencia (A 3600 r.p.m.):	15 C.P.
Torsión máx. (kg-mm a 2400 r.p.m:	3,394.363	Relación de compresión:	8.5 : 1
Peso seco:	40 kg	Capacidad de aceite:	1.9 litros

Lubricación: Presión con filtro de flujo completo Dimensiones (l xAn xAl): 340.8 x 502.4 x 474.9 mm.

Distribución geométrica

Tren completo de transmisión de potencia.

1. Motor 2. Embrague 3. Caja de velocidades 4. Toma de potencia 5. Árbol hacia diferencial 6. Diferencial 7. Árbol hacia las ruedas 8. T. epicicloidal y freno

Propuesta de cadena cinemática para el tractor.

En la Fig. 6 se muestra otra propuesta para la cadena cinemática de la transmisión de potencia para el minitractor, en ella, se agregan sistemas epicicloidales de reducción, esto hace más pequeña la caja de velocidades, la cual se tendrá que diseñar, de acuerdo a la necesidad específica, está constará de cuatro velocidades hacia delante y una en reversa.

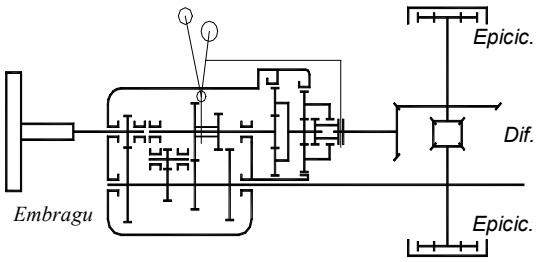


Fig. 6 Esquema de la transmisión de potencia empleando sistemas epicicloidales de reducción.

Análisis de algunos elementos con paquetes de elemento finito.

En este punto se mostrarán los cálculos y valores arrojados por paquetes de elemento finito de algunos elementos factibles para diseñar de la caja de velocidades, entre ellos, un árbol de transmisión y un diente de engrane. El esfuerzo admisible para el material considerado es σ_{adm} = 128.2 Mpa, mientras el producido es de σ_{prod} = 44.808 MPa. según el software. El valor del porcentaje de error es 0.003676.

Terminado el diseño matemático, se procede a crear los dibujos normalizados de las piezas que conformarán los subensambles y el ensamble de la transmisión. Las Figs. 9-11 muestran algunos de ellos.

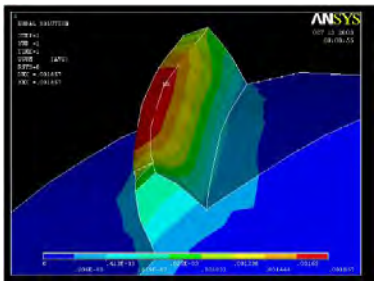


Figura 7 Geometría del diente del engrane primario

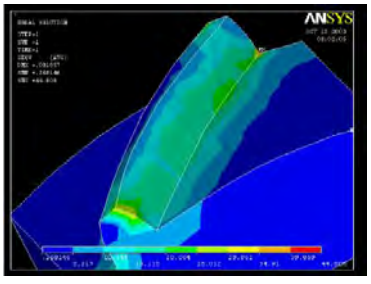


Figura 8 Análisis del diente donde se aprecia el esfuerzo máximo.

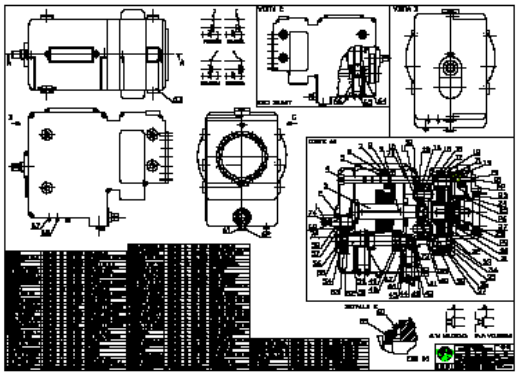


Fig. 9. Subensamble caja de velocidades

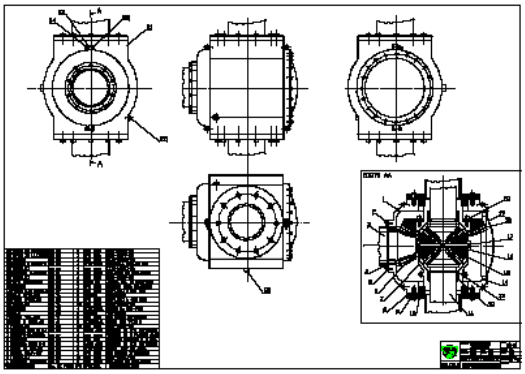


Fig. 10 Subensamble diferencial

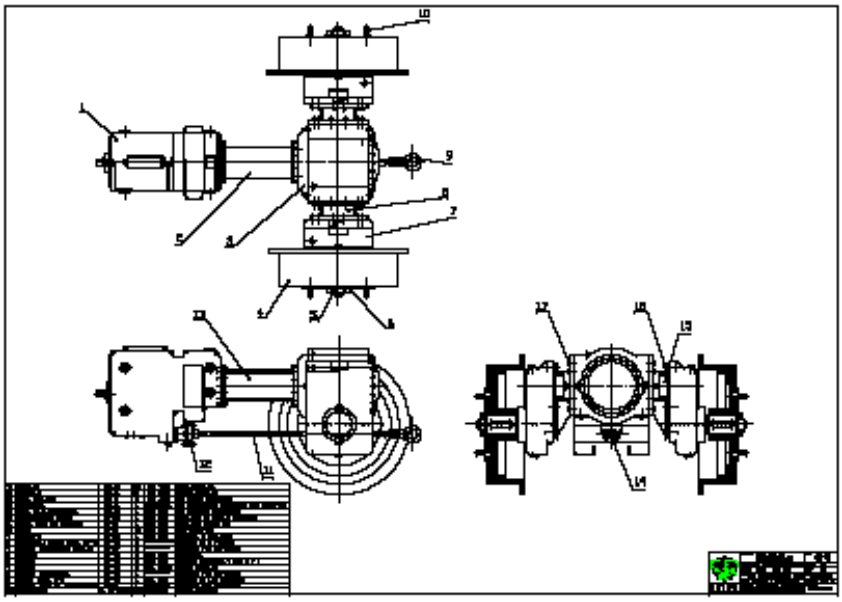


Fig.11 Dibujo conjunto transmisión

Las Figs. 12 y 13 representan en tres dimensiones, la caja del diferencial y de algunas partes, con el objeto de facilitar su fabricación.

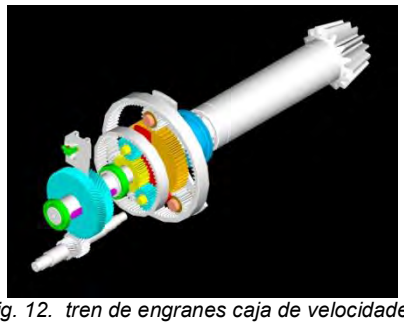


Fig. 12. tren de engranes caja de velocidades y caja – diferencial

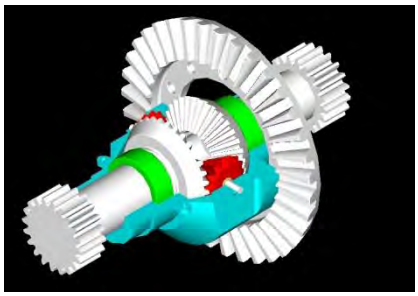


fig. 13 tren diferencial y árboles diferencial – reductores finales

Conclusiones y recomendaciones

De manera general, el desarrollo de tecnología en México se ha quedado estancado, debido a factores no relacionados con el hecho de que no exista una metodología, sino a razones políticas, económicas, y de la importación desmedida de maquinaria, que influyen en la falta de necesidad de crear nuestros propios productos. Considerando las herramientas que se tienen ahora, y tomándolas, para diseñar una máquina lo más adecuada a las necesidades de nuestro país. Esta metodología queda como una propuesta abierta a las personas que tiene el poder de ayudar a que el avance de este país no se limite al comercio de tecnología, sino al desarrollo de ella, que lo llevaría a ser un país de primer mundo.

Trabajos a futuro.

Dentro de estos se puede mencionar:

- Rediseño de la caja de velocidades, empleando sincronizadores.
- Bajar más el centro de gravedad del tractor.
- Mejorar los Reductores finales, empleando reductores axiales.
- Rediseñar la toma de potencia.

Referencias

[1] Allen S. H. Jr, Holowenko A., Laughlin, H. G. "Teoría y Problemas de Diseño de Máquinas". México, 1990. McGRAW HILL
[2] Virgil Moring F. "Diseño de Elementos de Máquinas". México, 1990. UTEHA
[3] Liljedahl J., Turnquist M., Carleton W.M., Smith D.W. "Tractores y sus unidades de potencia". México, 1984. LIMUSA
[4] Kórsakov. V.,"Fundamentos de la tecnología en la construcción de maquinaria". Moscú, 1987. MIR
[5] Begeman M.L.,. "Procesos de Manufactura v. SI" México, 1989. Cía. Ed. CONTINENTAL
[6] Jensen C., Mason F., Roa J. B.. "Dibujo Técnico" Tomos 1, 2, 3, México, 19

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 58. Volumen 4(1), 8 páginas

CÁLCULO DE LA TEMPERATURA ADIABÁTICA DE LA COMBUSTIÓN REAL SIMULADA

David Castillo Mejía[1], José Ángel Dávila Gómez[2], Zeferino Damián Noriega[3]

Resumen

La temperatura adiabática es la máxima temperatura teórica que la flama de una combustión real de un combustible puede alcanzar en ausencia de transferencia de calor que, por razones termodinámicas, no es factible evitar con lo que la temperatura efectiva observada es menor. La estimación de la temperatura adiabática debe realizarse en función de la composición de equilibrio químico de las especies presentes en la flama. El problema se define entonces como un algoritmo complejo que obliga iterar la temperatura adiabática buscada con la composición de las especies a esa misma temperatura adiabática de acuerdo al proceso específico de equilibrio químico, que en nuestro caso es el representado por el mecanismo de reacción de gas húmedo. En este trabajo se presenta una estimación comparativa de esa temperatura a partir de la composición obtenida mediante la combustión oxidante completa como referencia empleando metano, el mayor componente del gas natural comercial, así como conceptos avanzados derivados de los diagramas de combustión de equilibrio termodinámico como base de la combustión real simulada. El cálculo de la estimación y de la comparación se hace en el rango límite superior a límite inferior de inflamación con aire atmosférico como comburente.

Palabras clave: temperatura adiabática, combustión oxidante completa, combustión real hidrocarburos, métodos de cálculo de.

Summary

The adiabatic temperature is the maximum theoretical temperature that you can see in an actual fuel's combustion in the absence of heat transfer, which for thermodynamic reasons is not feasible to avoid, so the observed effective temperature is lower than the adiabatic temperature. The estimation of the adiabatic temperature must be done based on the composition of chemical equilibrium of the species present in the combustion's flame. The problem is then defined as a complex algorithm that oblige to iterate the adiabatic temperature together with the species' composition at the same adiabatic temperature according to the specific process of chemical equilibrium, which in our case is represented by the wet gas mechanism of reaction. This work presents a comparative estimate of the adiabatic temperature from the composition obtained trough the oxidizing complete combustion as the reference using methane, the major component of commercial natural gas, as well as advanced concepts derived from the thermodynamic equilibrium diagrams of combustion as the basis for the simulated real combustion. The calculus of the estimation and the comparison will be do it in the range: lower limit to upper limit of inflammation using atmospheric air as oxidant.

Key words: Adiabatic temperature, oxidizing complete combustion, real burning hydrocarbons, methods of calculation.

[1] Estudiante de Ingeniería Mecánica. Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, Deleg. Azcapotzalco, México D.F., México.
E-mail: al206303050@alumnos.azc.uam.mx

[2] Profesor del Área de Tecnologías Sustentables. Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, Deleg. Azcapotzalco, México D.F., México.
E-mail: jadg@correo.azc.uam.mx

[3] Profesor del Departamento de Energía. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, Deleg. Azcapotzalco, México D.F., México. E-mail: zdn@correo.azc.uam.mx

Introducción

La temperatura adiabática es la máxima temperatura teórica que una combustión cualquiera puede alcanzar; de ella depende principalmente la temperatura efectiva en el hogar, misma que permite la transferencia de calor al fluido vector de trabajo en un generador de vapor o hace que la expansión máxima se alcance en un motor de combustión interna, por ejemplo.

La combustión es la reacción de un combustible (reductor), comercial o industrial, con un oxidante comúnmente aire atmosférico. Como tal, se lleva a cabo en la fase gaseosa y por lo tanto, la primera dificultad que se tiene con los combustibles no gaseosos es traerlos a esa fase; la segunda y básica para la misma es que la combustión, siendo una reacción química, se agota rápidamente si no se le alimenta convenientemente con la mezcla reactiva combustible – comburente en las proporciones adecuadas y en las condiciones de operación requeridas.

La reacción de combustión de los combustibles orgánicos tanto de tipo fósil (hulla, petróleo, gas y sus derivados), como no fósil (madera, biomasas, destilados metílicos y etílicos o producidos por la fermentación de azúcares), depende además de su propia naturaleza (vg. composición, cantidad de agua e hidratos, oxígeno e impurezas) del medio de contacto y aseguramiento de la propagación y el control de la misma (frente de flama).

Planteamiento del problema

En el presente trabajo nos planteamos la conveniencia de definir un método de cálculo de la temperatura adiabática del metano, el mayor componente del gas natural y universalmente presente en la corteza terrestre tanto como combustible primario fósil, asociado o no al petróleo o al carbón, como producto de la descomposición anaerobia de moléculas biorgánicas y de organismos muertos; asimismo, se encuentra ampliamente en el gas de los pantanos así como en la descomposición de las excretas de los organismos vivos.

El gas metano se compone de un átomo de carbono y cuatro átomos de hidrógeno en disposición tetrapiramidal en el estado basal. La descomposición seca del mismo conlleva la ecuación química:

$$CH_4 \rightleftarrows C_{(s)} + 2H_2 \tag{1}$$

de donde es posible inferir al menos dos reacciones más, que sirven de base para el cálculo de la combustión teórica denominada neutra:

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 \tag{2a}$$
$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O \tag{2b}$$

mismas que no consideran la reversibilidad señalada por la doble flecha de la primera de ellas.

La combustión real es mucho más compleja que la combustión idealizada por las ecuaciones 2a y 2b anteriores aunque en la práctica la estimación de los productos Dióxido de carbono (CO_2) y Vapor de Agua (H_2O), obedezcan a esas relaciones; la combustión real obedece más a relaciones del tipo de la ecuación 1 por lo que si se introduce el oxígeno como motor de la descomposición del metano en esa relación, se obtiene una combinación de las tres ecuaciones señaladas [3], [4]

$$CH_4 + 2O_2 \rightleftarrows CO_2 + 2H_2O \tag{3}$$

reacción que se lleva a cabo exclusivamente en la fase gaseosa y cuyo balance de masa es ya de por sí más o menos complicado debido a que si se parte de una unidad molar de metano al cabo de un determinado tiempo, al alcanzar el equilibrio químico que la propia ecuación menciona, se tendrá que existe una relación dependiente del tiempo tal que asegura la permanencia de esta situación:

$$K_{eq}(T) = \frac{[CO_2\,] \times [H_2O]^2}{[CH_4] \times [O_2]^2} \tag{4}$$

$K_{eq}(T)$, constante de equilibrio que en términos de concentración unitaria inicial, puede escribirse para la concentración de equilibrio como:

$$K_{eq}(T) = \frac{[x]\ [2x]^2}{[1-x]\ [2(1-x)]^2} = \frac{x^3}{(1-x)^3},$$

donde *x* es la conversión unitaria del metano, de donde bastaría con observar el equilibrio químico de los compuestos CO_2, H_2O, H_2 o conocer su función respecto a la temperatura para resolver tal equilibrio; es de más indicar que dicha constante de equilibrio es para la reacción indicada muy elevado con valores de *x* que alcanzan rápidamente más del 95% a la temperatura de autoinflamación del metano (631.84°C) de tal forma que la constante de equilibrio para esa reacción alcanza valores cercanos o superiores a las 7000 unidades a esta última temperatura. Por otro lado, sin embargo, los compuestos últimos, entre sí forman un equilibrio químico muy estable de características limitantes mediante lo que se conoce como mecanismo de reacción del gas húmedo:

$$CO_2 + H_2 \rightleftarrows CO + H_2O \tag{5}$$

con:

$$K_{eq}(T) = \frac{[CO] \times [H_2O]}{[CO_2] \times [H_2]} = e^{-\frac{3602.6}{T}+3.3774} \tag{6}$$

Para los valores numéricos de la Tabla No. 1:

Tabla 1. Valores para T y Keq (T)

T °C	*Keq(T)*
631.84	0.55
1000	1.72
1500	3.84
2000	6.00
2500	7.99

que a título de comparación con la K_{eq} de la ecuación (3), es manifiesto a la temperatura de autoinflamación del metano (0.55 contra 7000); esta diferencia significa que mientras que la reacción de combustión representada por la ecuación 3 citada representa una reacción instantánea prácticamente irreversible, la insurgencia de la reacción de gas húmedo de manera también automática, disminuye la conversión de la reacción de la combustión completa a los valores comprendidos entre 0.55 a 7.99 para la presencia de monóxido de carbono e hidrógeno libres que no participan necesariamente en combustiones posteriores.

Es este equilibrio químico en particular el que se explora en este trabajo en el cálculo de la Temperatura Adiabática de la combustión del metano y misma que se compara con los valores estimados para la reacción de combustión completa.

Solución del problema

La correlación siguiente es la general para el cálculo de la Temperatura Adiabática, desarrollada del balance de energía del sistema combustible – comburente – gases de combustión para un sistema a presión constante:

$$T_{ad} = \frac{PCI}{\overline{Cp}_{prod}(1+(1+\frac{\%e}{100})Pa)} + \frac{\overline{Cp_{reac}}}{\overline{Cp_{prod}}}(T_1 - 25) + 25;\ en\ °C \tag{6}$$

De tal manera que entre los requisitos para atacar el cálculo de la temperatura adiabática implica conocer el calor específico a presión constante de la mezcla de entrada ($\overline{Cp_r}$) y de salida ($\overline{Cp_p}$) de los reactivos y los productos a y de la cámara de combustión así como el valor de la entalpía de la reacción de combustión específica o poder calorífico inferior (PCI).

Sin embargo, es bien conocido que el calor específico Cp es función de la temperatura, lo que hace que el cálculo de la temperatura adiabática necesite un esquema iterativo para poder llegar a la solución. Cómo todo proceso iterativo se necesita un valor inicial aproximado de la respuesta que conducirá al modelo hacia la respuesta correcta analítica.

Otro requisito necesario es acotar el vector solución a los límites teóricos donde la combustión puede existir, para acotar la respuesta de manera práctica, la solución del problema se basará en la Combustión Oxidante Completa (COC), la cual es la combustión de referencia por excelencia para la producción de potencia.

Para acotar la solución a la correspondiente COC, como primer paso es primordial calcular el límite de

máximo de exceso de aire, lo que a su vez implica la riqueza mínima. Para encontrar este vector se hará la suposición de que los gases de salida de la combustión solo contienen aire como gas ideal.

Teniendo disponible el vector respuesta de la temperatura adiabática para la COC en sus respectivos límites de inflamabilidad se dispondrá de un valor aproximado para iniciar el modelo completo de la combustión que dará la temperatura adiabática real en el mismo rango.

Calculo del límite de inflamabilidad.

Para conocer el límite de inflamabilidad, se utilizará la definición de riqueza de una mezcla, la cual matemáticamente se expresa como sigue:

$$\varphi = \frac{\left(\frac{Combustible}{Comburente}\right)_{real}}{\left(\frac{Combustible}{Comburente}\right)_{teórico}} \tag{8}$$

El límite real mínimo de porcentaje volumétrico de metano en aire es: $\%V_{CH_4} = 5 \ \therefore \ \%V_{aire} = 95$. Para calcular la proporción teórica estequiométrica se hace uso de las constantes de combustión en volumen:

$$V_{aire} = 9.56\frac{m^3 NAire}{m^3 N\ CH_4} \ \therefore \ \%V_{CH_4} = 9.47 \ \& \ \%V_{aire} = 90.53$$

Con los porcentajes disponibles se hace el cálculo de la riqueza mínima del metano, que es: $\varphi = 0.5031$; utilizando la definición de factor de comburente se puede calcular el porcentaje máximo de exceso es: $\%e = 98.75$. *Con lo anterior se establece que la mezcla puede ser alimentada en un rango de comburente en exceso que oscile entre 0% y 98.75*

Aproximación de la temperatura adiabática.

A continuación se procederá al cálculo de la temperatura adiabática con (6), a través de los tres métodos siguientes y con una alimentación metano – aire a la temperatura de referencia (25°C) del PCI entre los valores definidos por la combustión neutra o teórica y la COC en su límite inferior de riqueza (98.75% exceso de aire):

1. Cálculo preliminar considerando los gases de combustión como aire caliente.
2. Cálculo de referencia considerando los gases de combustión como los productos de la COC, y
3. Cálculo de la temperatura adiabática considerando el mecanismo de equilibrio químico indicado en el planteamiento del problema.

De los tres métodos, la diferencia principal es que los dos primeros son aproximados y el último el derivado de la reacción de combustión (3) combinado con el equilibrio impuesto por las especies de la reacción del gas húmedo (4). En todos los casos la ecuación de base es una variante de la ec. (6), donde se ha supuesto que el valor de T_1 es de 25°C.

$$T_{ad} = \frac{PCI}{\overline{Cp}_{prod}\left(1+\left(1+\frac{\%e}{100}\right)Pa\right)} + 25; \ en\ °C \tag{6b}$$

donde: T_{ad} = Temperatura adiabática
T_1 = 25°C, Temperatura de referencia (temperatura de los reactivos)
$\overline{Cp_{prod}}$ = Calor específico promedio de los gases residuales.
PCI = Poder calorífico inferior = $PCS - P_{H2O}\, x\, h_{fg}$
Pa = Poder del aire en unidades congruentes a PCI (kg de aire/kg de metano)

Para los *Cp(T)* se usa la siguiente relación que para cada especie considerada se tabulan los parámetros *A, B* y *C* (Tabla 2):

$$C_p(T) = \left\{A + BT + \frac{C}{T^2}\right\}\frac{kJ}{kgmol\,K}^5 \tag{9}$$

Debido a que en (6b) se utiliza un promedio del C_p en el intervalo de temperatura $[T_1, T_a]$, es necesario realizar el promedio elemental de (9):

$$\overline{C_{p_{prod}}} = \frac{<A>(T_a - T_1) + <B>\left(T_a^2 - {T_1}^2\right) + <C>\left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_1}\right)}{T_a - T_1} \tag{10}$$

que, combinando (10) con (6b) se puede llegar a lo siguiente:

$$< A > (T_a - T_1) + < B > \left(T_a^2 - {T_1}^2\right) + < C > \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_1}\right) = \frac{PCI}{1+(1+\frac{\%e}{100})P_a} \quad (11)$$

Para resolver (11) se toma en cuenta que solo existe una variable: T_a, la cual por la naturaleza de la expresión se encuentra usando un esquema iterativo.

Tabla 2. Parámetros analíticos de los calores específicos de los gases de la combustión función de T

Compuesto	**A**	**B**	**C**
Aire	3.355	$0.5756x10^{-3}$	$-0.016\ x10^{5}$
Dióxido de carbono, CO_2	5.457	$1.45x10^{-3}$	$-1.157x10^{5}$
Monóxido de carbono, CO	3.376	$5.57x10^{-4}$	$-3.1x10^{3}$
Hidrógeno, H_2	3.249	$0.422x10^{-3}$	$0.083\ x10^{5}$
Agua, H_2O	3.470	$1.450x10^{-3}$	$1.21x10^{4}$
Nitrógeno, N_2	3.280	$5.93x10^{-4}$	$4x10^{3}$
Oxígeno, O_2	3.639	$5.06x10^{-4}$	$-2.27x10^{4}$

Método 1. Se emplea solamente el valor

$$\overline{C_{p}}_{prod} = 0.965(T_a - T_1) + 8.2585x10^{-5}\left(T_a^2 - {T_1}^2\right) + 460.29\left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_1}\right)\ en\ \frac{kJ}{kg\ ^oK},$$

considerando que los productos son aire caliente exclusivamente.

Método 2. Para cada uno de los cálculos de la temperatura adiabática en función del exceso y la composición de los gases de combustión con los productos completos de la combustión oxidante, se utilizan los coeficientes promedio ponderales < I > siguientes (Tabla 3), dichos coeficientes contienen la información del porcentaje de exceso:

$$< A >= \frac{11.5936+0.092507(\%\ e)}{10.56+0.0956(\%\ e)};\ < B >= \frac{1.4332x10^{-3} + 7.9673x10^{-6}(\%\ e)}{10.56+0.0956(\%\ e)};\ < C >= \frac{1714.0884+28.2135(\%\ e)}{10.56+0.0956(\%\ e)}$$

Método 3. En este método el cálculo de la temperatura adiabática tiene como primer paso calcular la composición química de la mezcla de gases a la salida, ya que se considera corresponde a la misma temperatura adiabática. Para llegar a la solución de la composición se parte de un balance molar con el que se llega a las siguientes relaciones que hacen uso de las constantes de combustión para metano.

- $(CO_2) \leq V_{CO_2}$; para metano $V_{CO_2} = 1$

Tabla 3. Coeficientes promedio ponderales aplicables con distribución COC

% e	<A>	<B>	<C>
0	1.0979	$1.3572x10^{-4}$	162.3190
20	1.0779	$1.2769x10^{-4}$	182.6779
40	1.0633	$1.2179x10^{-4}$	197.6243
60	1.0520	$1.1728x10^{-4}$	209.0635
80	1.0432	$1.1372x10^{-4}$	218.1002
98.75	1.0364	$1.1100x10^{-4}$	225.0030

Se escoge un valor de: $\frac{\beta}{\alpha} \leq 0.25, que\ corresponde\ al\ limite\ de\ emisión\ según$ [6]

- $(CO) = V_{CO_2} - (CO_2)$ (12)
- $(H_2) = \frac{V_{H_2O}}{1+K_{eq}(T)\frac{(CO_2)}{(CO)}}, con\ Keq\ dada\ por\ (6)$ (13)
- $(H_2O) = V_{H_2O} - (H_2)$ (14)
- $(O_2) = \mu_a V_{CO_2} + \frac{1}{2}\big((CO) + (H_2)\big)$ (15)
- $(N_2) = \mu_a V_{N_2}$*; se dice que es nitrógeno aunque en realidad son todo lo que no son alguno de los anteriores*
- $V'_{fo} = (CO) + (CO_2) + (H_2) + (H_2O) + (O_2) + (N_2)$, corresponde a los humos húmedos (16)

El cálculo de la composición de los gases de salida de la combustión así como la temperatura de la llama será estimada en base a humos húmedos, ya que el agua tiene una alta capacitancia térmica y no es conveniente despreciarla.

Requisitos para comenzar el cálculo de las composiciones:

- Fijar un porcentaje de exceso y suponer la temperatura de flama adiabática correspondiente a ese exceso calculada con el método 2 para poder comenzar el cálculo de las composiciones.
- Fijar un valor para la relación: $\frac{\beta}{\alpha} = 0.25$, que será el caso particular que se analizará.

Según las relaciones (12)-(16), se puede calcular la fracción molar de cada componente:

$$\propto = \frac{(CO_2)}{V'_{fo}} \quad (17)$$

$$\beta = \frac{(CO)}{V'_{fo}} \quad (18)$$

$$\psi = \frac{(H_2O)}{V'_{fo}} \quad (19)$$

$$\eta = \frac{(H_2)}{V'_{fo}} \quad (20)$$

$$\omega = \frac{(O_2)}{V'_{fo}} \quad (21)$$

$$\delta = \frac{(N_2)}{V'_{fo}} \quad (22)$$

Con estas composiciones se procede a calcular el calor específico ponderado de los gases residuales, con lo que los términos: <A>, <B> y <C> de (11), se vuelven función de la temperatura y del porcentaje de exceso, por lo que es imprescindible tener una buena aproximación de la temperatura. Con (11) se calcula la Temperatura hasta que converjan (17) a (22) con (11) en el pronóstico.

Resultados

La solución de (11) en todos los métodos se hizo utilizando la herramienta: "Solver" del software Excel.
Los resultados para el cálculo de la Temperatura de flama se pueden ver en la siguiente Tabla 4. En la figura 1 se observa como decae la temperatura de flama según aumenta la cantidad de CO en los humos húmedos, dado por la relación: $r = \frac{\beta}{\alpha} = 0, 0.1, 0.15, 0.2\ y\ 0.25$; se recuerda que el caso en el que r = 0 se tiene COC.

Tabla 4. Temperatura adiabática para distintos porcentajes de exceso de comburente

Método	%e	0	20	40	60	80	98.75
1	T_a [K]	2572.24	2253.00	2013.31	1826.40	1676.48	1560.50
2	T_a [K]	2199.41	1976.64	1800.33	1657.32	1539.00	1445.25
3	T_a [K]	2085.00	1865.7	1691.4	1549.4	1431.2	1337. 0

Conclusiones

En el presente trabajo se calcula la temperatura adiabática mediante un método de equilibrio químico, que se justifica, superpuesto a las reacciones típicas de la combustión por la magnitud de las constantes de equilibrio químico señaladas; método que se compara con los resultados de los otros métodos simples que tan sólo consideran estas últimas reacciones como participantes. Asimismo, el análisis de los resultados de los dos métodos empleados como referentes respecto al método en estudio muestra la importancia de profundizar en la complejidad de la combustión de los hidrocarburos en cuanto a su combustión real.

Se puede observar de manera directa cómo la magnitud de la temperatura de flama adiabática desciende rápidamente al considerar una composición de combustión oxidante completa en los gases de salida según un porcentaje de exceso definido previamente. Esto demuestra como el considerar que los gases de combustión a la salida sean simplemente aire, podría degenerar en diseños mal dimensionados de equipos de combustión que habría que optimizar en su operación física de manera innecesaria.

Reconocimientos

Los autores de este artículo [1] y [2] agradecen las sugerencias y la información adicional así como la asesoría sobre la organización del CIMEEM al Dr. Zeferino Damián Noriega

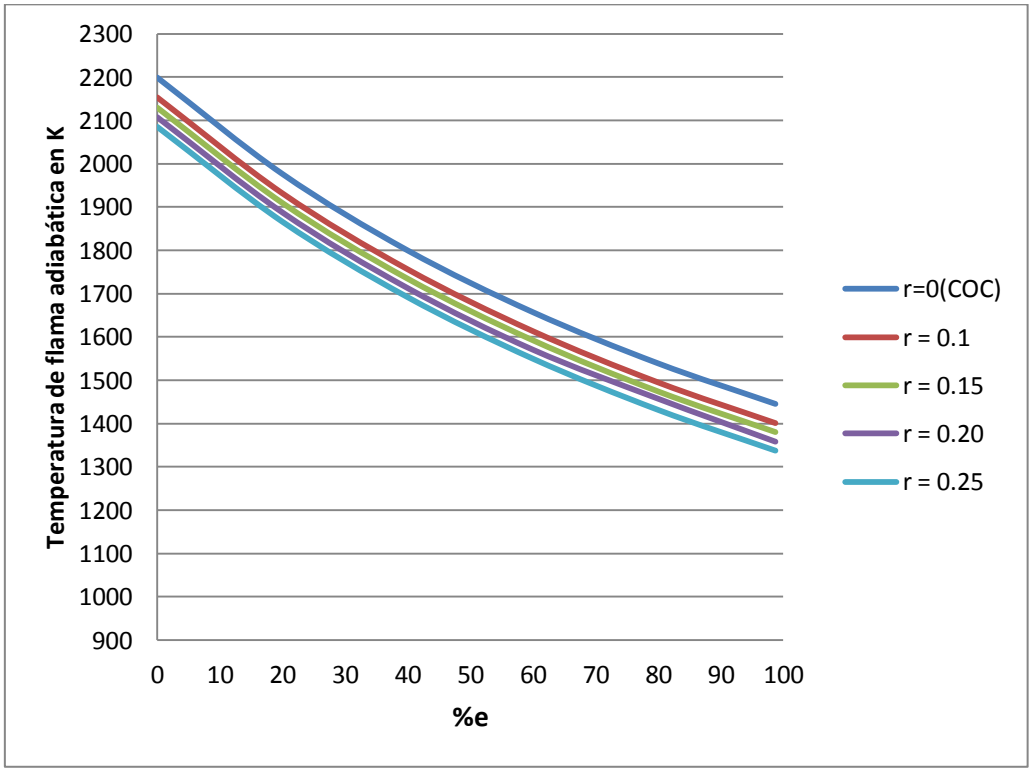


Fig. 1. Temperatura de flama adiabática para distintas r en función del porcentaje de exceso.

Referencias

[1] Dávila Gómez, J. Ángel. *Combustión Teoría y Práctica*. 1ra Ed. Julio 2000. PROYECTEC. Tlalnepantla, Edo. México. 174 pp..

[2] Smith, J.M. Van Ness, H.C. *Introducción a la termodinámica en ingeniería química*. 7ª. Ed. 2007. Mc Graw Hill, 816 pp.

[3] Erickson y Prabhu, AIChEj, vol. 32 #7 (1079-1987), 1986.

[4] Dávila J.A. y Vaca M.A. *Modelación termodinámica de reacciones de activación de carbones primarios*. Reporte 247, UAM, 1990.

[5] E. Perthuis. *La Combustion Industrielle.* Edic. Technip. IFP, Paris, 1983.

[6] Norma de Emisiones Vehiculares. *NOM-041-SEMARNAT-2006*

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 59. Volumen 4(1), 9 páginas.

PROTOTIPO AUTOMATIZADO PARA RECICLAR PET (POLIETILEN TEREFTALATO)

Cesar Víctor Feria Reyes[1], Abraham Rodríguez Galeotte[2], Juan Roberto Rodríguez Bello[2],

Resumen

En este trabajo se realiza el diseño y automatización del proceso de reciclado del PET (Tereftalato de polietileno), que es una materia prima plástica derivada del petróleo, iniciando desde el proceso de alimentación, lavado, secado y fragmentación, hasta la etapa de fundido del producto plástico, posterior a una selección determinada del tipo de pet que se desee reciclar. Este proceso puede llevarse a cabo de manera automática o manual debido al sistema de control diseñado para tal efecto. En la actualidad, el proceso de reciclaje, básicamente es el mismo para los distintos tipos de plásticos y consiste en la separación y selección, limpieza y en algunos casos el peletizado, aunque el moldeado por inyección, por compresión o termoformación, puede realizarse con el material picado limpio. La utilización del pet es muy diversa, su uso más conocido es quizás en forma de envase para bebidas carbónicas, aceite, aguas minerales, zumos, tés y bebidas en general. De la misma manera, es empleado como contenedores en alimentos, detergentes, productos de limpieza, productos cosméticos, productos químicos y otros. Por su gran ligereza y resistencia mecánica a la compresión y a las caídas, su alto grado de transparencia y brillo, por su capacidad de conservar el aroma y sabor de los alimentos, reciclable al 100% ha llevado a desplazar a otros materiales como el PVC. En Europa se emplean alrededor de 450 millones de toneladas de pet al año, de estas 300 toneladas son destinadas a envases. Bajo este contexto se realiza el diseño y construcción de una máquina que permita el adecuado reciclaje de este material plástico, está basado en el sistema de triturado, una sección de lavado y secado, así como la sección de fundido. El diseño propuesto se realizó con el objetivo de lograr un equipo económico y versátil, que además de alcanzar los estándares de higiene, calidad, es de fácil manejo.

Palabras clave: Pet, reciclaje, máquina, diseño, fácil manejo.

Summary

In this study, performed the design and automating the process of recycling of PET (polyethylene terephthalate), a plastic raw material derived from petroleum, starting from the process of feeding, washing, drying and fragmentation to the stage of molten plastic product, following a particular selection of the type of pet you want to recycle. This process can be performed automatically or manually due to the control system designed for this purpose. Currently, the recycling process is basically the same for different types of plastic and consists of the separation and sorting, cleaning and in some cases the pellets, although the injection molding, compression or thermoforming can be accomplished with the material chopped clean. The use of PET is very diverse, its use is perhaps best known as a container for carbonated beverages, oil, mineral water, juices, teas and beverages in general. Similarly, it is used as food containers, detergents, cleaning products, cosmetics, chemicals and others. For its lightness and mechanical resistance to compression and falls, its high transparency and gloss for their ability to preserve the aroma and taste of food, 100% recyclable has been moved to other materials such as PVC. In Europe, employing around 450 million tons of PET a year, these 300 tonnes are destined for packaging. In this context, it makes the design and construction of a machine that allows for proper recycling of this plastic material is based on the shredding system, a section of washed and dried, and the cast section. The proposed design was conducted with the aim of achieving an economical and versatile team, in addition to meeting the standards of hygiene, quality, easy to use

Keywords:

[1] IPN – ESIME-SEPI. Azcapotzalco. Tel: 5729-6000. E-mail: cferiav@ipn.mx
[2] IPN – UPIITA. Ticomán. Tel. 5729-6000, Ext. 56882. E-mail: egaleotti1935@hotmail.com

Introducción

El pet (Tereftalato de polietileno) es catalogado como una resina que, gracias a sus propiedades ha sobresalido entre muchos otros materiales como el mejor para almacenar bebidas y alimentos para el consumo humano, también, se emplea para la fabricación de diversos artículos en industrias tales como la textil, automotriz y otros. El material plástico no se degrada en el medio ambiente como la basura ecológica, permitiendo la opción de reciclado, siendo económicamente viable debido a que se requieren recursos mínimos. Sin embargo la normativa legal, la salubridad y la degradación del producto no siempre posibilitan recurrir a la reutilización, con lo cual la alternativa posible es el reciclaje, con la finalidad de disminuir la cantidad de residuos y el consumo de materias primas. Su reducido peso en relación con el producto es de aproximadamente 50 veces, lo que implica un importante ahorro de combustible en su transporte ya que pesa hasta 28 veces menos que el vidrio y fundamentalmente es más seguro que un envase a base de vidrio ante una eventual rotura.

La gran diversidad de aplicaciones del pet por sus características va desde envases, textiles, películas fotográficas, hasta cintas de audio. Cabe señalar que el plástico debe ser cuidadosamente seleccionado debido a que una mezcla da lugar a una debilitación estructural de las familias de polímeros y contaminan el reciclado.

En nuestro país aún no es posible encontrar leyes o reglamentos acerca del reciclado del pet, por lo que todo se basa en la necesidad que cada empresa requiera.

Derivado de lo anterior, se realiza el diagrama mostrado en la Fig. 1, el cual nos permitirá seguir la metodología del proceso del presente trabajo.

La demanda de pet reciclado es mucho mayor de lo que se produce. Por lo que los dos primeros puntos de nuestro diagrama dependen de factores externos al diseño del equipo, se procede con la determinación de la sección de triturado como se presenta a continuación.

Material y métodos

Se enlistan los pasos del proceso de reciclado convencional.

Descripción del sistema de triturado.

En este punto, se puede hacer mención que a nivel industrial se emplean los llamados molinos para PET, Fig. 2. Se busca principalmente el molido o picado del material recolectado, para la reducción del tamaño de PET, existen varias tecnologías de acuerdo a lo deseado. Pueden obtenerse medidas de media, cuarto de pulgada o casi polvo, de acuerdo al tipo de molino que se utilice.

Para el caso de pet empleado en textiles los tamaños de las “hojuelas de PET” van de un cuarto y media pulgada.

Fig. 1. Diagrama del proceso de reciclado de PET.

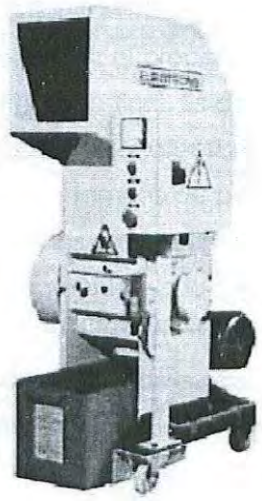


Fig. 2. Molino para PET.

Descripción del sistema de separación

La separación tiene el objetivo de liberar al plástico de diferentes tipos de materiales, principalmente de otros tipos de polímeros que estén acompañando al material y también de materiales como el vidrio o papel. Si llegara a pasar que existan otros materiales diferentes al PET perjudicaría al proceso contaminando el producto final.

Los métodos de separación empleados en esta industria se pueden enumerar en macro, micro y molecular. El primer método se refiere a la separación y clasificación del envase mismo, teniendo en cuenta el color, forma y tamaño del recipiente, básicamente se realiza manualmente e incluye el proceso de separación de la tapa y el desetiquetado. La microseparación se lleva a cabo tomando en cuenta una propiedad específica en particular como el peso, densidad y otros. La separación molecular involucra procesar el plástico por disolución del mismo y posteriormente separarlos de acuerdo a su temperatura. Otra alternativa es el uso de sistemas de flotación en la cual los de menor densidad flotan y los de mayor densidad se van al fondo donde un tornillo sin fin transporta al plástico a la siguiente etapa.

Descripción del sistema de limpieza

Las "hojuelas o Flakes" de PET están normalmente contaminadas con comida, papel, tierra, polvo, aceites, solventes entre otros elementos, por lo que deben ser limpiados en un baño que garantice la eliminación de los contaminantes, puede emplearse equipos como los hidrociclones, Fig. 3. en la cual el plástico limpio flota en la superficie, los contaminantes caen al fondo y se descargan.

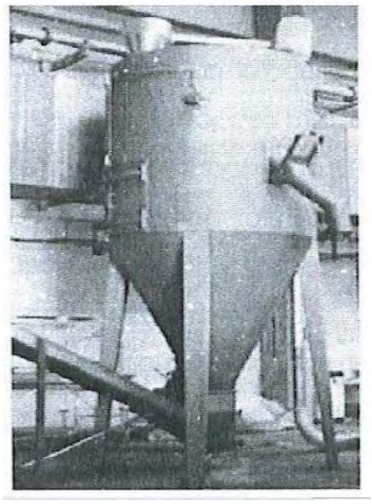


Fig. 3. Hidrociclón para la limpieza del PET.

Generalmente se emplea sosa caustica en este proceso, debido a que si hubiera un remanente, este podría ser utilizado en un posterior ciclo de lavado. Adicionalmente, pueden emplearse sistemas de recuperación de aguas residuales dependiendo del cliente.

Proceso de secado

En esta parte del proceso se elimina completamente la humedad del material, para que pueda ser comercializado y posteriormente procesado. Se utilizan secadores de aire (caliente/frio), secadores centrifugados, es decir tambores especialmente diseñados para extraer la humedad por las paredes externas del equipo Fig. 4; también, algunas tecnologías emplean sistemas mixtos (lavado /secado) o incluso sistemas que realizan el proceso de molido, lavado y secado Fig. 5.

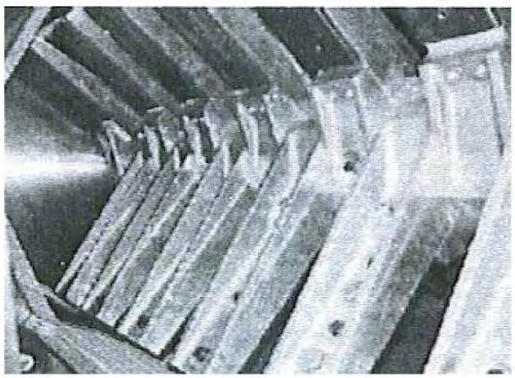


Fig. 4. Secador de PET.

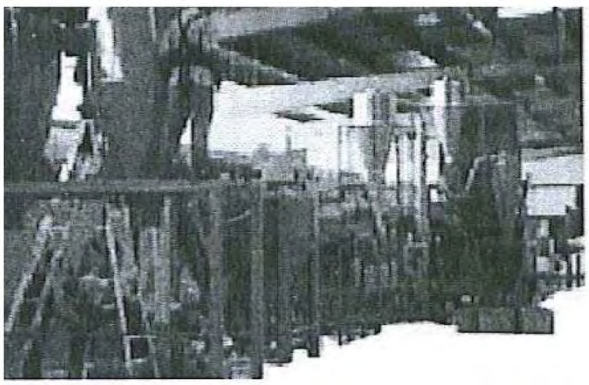


Fig. 5. Máquina de lavado y secado de PET.

Cabe señalar que los equipos son muy costosos y extremadamente voluminosos, el objetivo del presente trabajo es sentar las bases necesarias para el diseño y construcción de equipos menos voluminosos y a un precio accesible.

Proceso de fundido

Durante esta etapa, más que proceso, se habla de la transformación del PET, pueden utilizarse equipos de extrusión, en donde la materia prima alimentada es reblandecida normalmente por medio de resistencias eléctricas y por la fricción de un elemento giratorio denominado husillo, la forma final de la materia prima se le denomina "pellets". Actualmente las tecnologías en esta rama, incorporan directamente las hojuelas de PET directamente para la fabricación de fibras, filamentos y películas para termoformado. Debido a lo anteriormente expuesto, en los procesos convencionales, ya no es necesario llegar al peletizado, sino directamente a las hojuelas, limpias y sin degradar.

Derivado de lo anterior, se plantea el diseño de una máquina recicladora de PET de manera mecánica, que reúna todos los procesos para reducir el tiempo de producción, de la misma manera, se implementa un sistema de control que permita al operario intervenir solo en la alimentación inicial y supervisar el desarrollo de los procesos desde una pantalla; para lo cual se realizan los siguientes análisis.

Sección de triturado.

Es la parte referente a la molienda de los envases previamente seleccionados de PET, semejante a una tolva de alimentación, en la cual mediante el giro de unas aspas a través de un eje alimentado por un motor eléctrico, se rasga y tritura el PET, Fig. 6.

Determinación de la fuerza de corte:

Se toma en cuenta la resistencia última del material, que es de 75 MPa y con la siguiente ecuación se determina el esfuerzo de corte:

$$R_{u\,\mathrm{pet}} = \frac{V}{A}$$

Donde: $R_{u\ pet}$ es la resistencia última del PET (75 MPa),
V es la carga necesaria para la trituración,
A es el área del envase donde se aplica la fuerza, la cual se determina midiendo la parte más gruesa del material (la boquilla del envase).

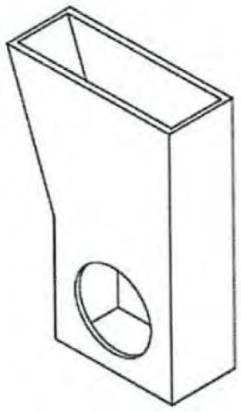


Fig. 6. Sección de triturado de PET.

Para el área de la sección, se tiene: $A = d.t$;

donde: t = 3 mm, d= 27.5 mm, lo cual nos da: A= 8.25 x 10^{-5} m^2

Sustituyendo en la ecuación arriba señalada, se tiene: V= 6.2 kN.

Para el cálculo de potencia y el par del motor tenemos $T = V \cdot r$, donde V es la fuerza cortante de las cuchillas, r es el radio generado desde el centro de eje hasta la punta de la cuchilla.

Sustituyendo se tiene una T = 310 N.m. $Dhp = T$ (n)/63025 y sustituyendo para una velocidad de 20 rpm se obtiene Hp = 0.44 y se determina que la potencia mínima para el motor es de ½ Hp y considerando un extra se emplea un motor de ¾ Hp.

Para la sección de lavado y secado se emplea una lavadora y la capacidad de la misma se determina de la siguiente manera, Fig. 7.

Las dimensiones son las siguientes: profundidad (PR) 30 cm, largo (LA) 50 cm, altura de entrada (AE) 50 cm, altura de sección (AS) 30 cm, radio de aspas de lavado (RA) 10 cm, los cuales se emplea para calcular la capacidad de la maquina con la siguiente relación.

$$\text{CAPACIDAD} = AS \cdot LA \cdot PR \times - \pi \cdot RA^2 \times PR \quad (1)$$

obteniendo un volumen de 0.036 m_3= 36 litros

En relación al motor de lavado y secado se emplea el peso máximo, así como la distancia, de la misma manera se considera las densidades del PET y el agua (1330 kg/m_3 1000 kg/m_3 respectivamente).

$$\text{masa}_{pet} = \rho \cdot \text{volumen} \cdot \%\ \text{capacidad}_{total} \quad (2)$$

$\text{masa}_{pet} = \rho$.volumen . % capacidad_{total} = 0.5(1330 kg/m^3).(0.036 m^3) = 23.94 kg = 24kg

$\text{masa}_{agua} = \rho$.volumen . % capacidad_{total} = 0.39 (1000 kg/m^3).(0.036 m^3) = 14.04 kg = 14 kg

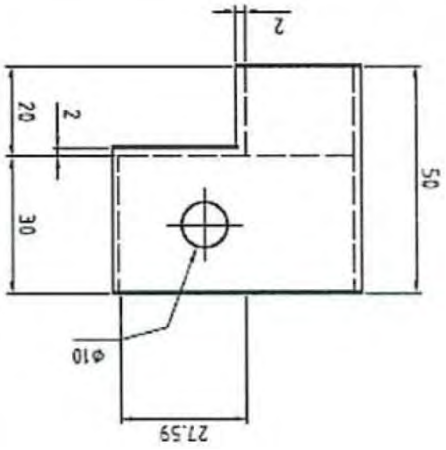


Fig. 7. Sección de lavado y secado.

$$\text{masa}_{\text{total}} = \text{masa}_{\text{pet}} + \text{masa}_{\text{agua}} \quad (3)$$

= 23.94 kg + 14.04 kg = 37.98 kg = 38 kg

$$F = masa\ x\ aceleración \quad (4)$$

= 38kg x 9.81m/s^2 = 372.78N = 373 N

$$T = f\,.\,d \quad (5)$$

= 373 N x 0.5 m = 186.5 Nm = 187 Nm

De las relaciones anteriores se concluye que el par del motor de lavado es menor que el par del motor de triturado, por lo que es factible emplear un motor con características similares, siendo este de ¾ Hp.

Continuando con la sección de Fundido, se determina el motor del husillo, en el que se emplea un tornillo sinfín de la sección de fundición en base a las siguientes relaciones.

$$Hp = (Hp_f + Hp_m)\ F_0 / e \quad (6)$$

$$Hpf = L \times N \times Fd \times Fb / 1000000 \quad (7)$$

$$Hpm = C \times L \times W \times Ff \times Fm \times Fp / 1000000 \quad (8)$$

Donde: *C* = Capacidad
e = eficiencia
Fb = Factor de Soporte
Fd = Factor de dimensión
Ff = Factor de ajuste ;
Fm = Factor del material ; Factor de sobrecarga ;
Fp = Factor de paletas ; L = Longuitud del tornillo (2 mts) ; N = Vel. De operación (10 rpm);
W = Densidad del Material 560 Kg/m3

Apendice 1.

Sustituyendo y resolviendo:

Hpf = 2x10x18x2 / 1000000 = 7.2x10-4 Hpm = 180x2x560x1x0.4x1/ 1000000 = 0.08064

Hp = (0.00072+0.08064)1.5 / 0.94 = 0.129 Hp

Se obtienen los valores del motor equivalente a ¼ Hp.

La fundición del material plástico se realiza en base a resistencias, las cuales estarán colocadas alrededor de la canaleta empleando la siguiente relación.

$$P = V\,.\,\rho\,.\,Cp\,.\,(t_2 - t_1) \times 1.2 / 860\,.\,T \quad (9)$$

Donde: P = Potencia de fundido, en kW ;
V = Volumen a calentar en m3 (0.45 m^3),
ρ = Densidad en kg/m3 (1330 kg/m^3) ;
t_1 = Temperatura ambiente (25 °C) ;
t_2 =Temperatura de fundición del PET (210 °C) ;
T = Tiempo de calentamiento en horas (0.25 = 15 min.)
C_p = calor específico del material a utilizar (acero inoxidable, 0.12)

Coeficiente de seguridad de Tensión del sector y valor óhmico de la resistencia igual a 1.2;

P = 0.45m3 x (1330kg / m3) x 0.12 x (210º C – 25º C) x 1.2 / 860 x (0.25 *h*) = 74.16 kW = 75kW

De lo anterior se concluye que la potencia para calentar la canaleta en base a resistencias y alcanzar la temperatura del PET es de 75 kW (Fig. 8), considerando un tiempo de precalentado de 15 min.

Cálculo de la estructura

Las secciones que alojará la estructura son tres y, tomando en cuenta que se utilizará agua, se decide emplear acero A36 para los componentes del sistema.

La altura de la estructura es de 2.5 m, con orientación vertical.

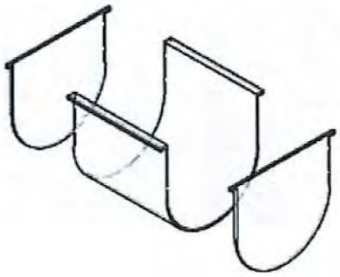


Fig. 8. Canaleta donde se realiza la fusión del PET.

Diseño del sistema de control

Este sistema es la encargada de activar o desactivar los diferentes componentes del sistema, en función de la sección en que se encuentre el PET. En la Fig. 9 se presenta en esquema.

Automatización del proceso

Se emplea un PLC para el sistema de control, Es importante destacar que un Controlador Lógico Programable (PLC), son aparatos de operación digital industriales que emplean memorias programables para almacenamiento interno de instrucciones, los cuales implantan funciones lógicas y analógicas tales como tiempo, continuidad aritméticas y PID, para el monitoreo y control de máquinas y procesos. Son fáciles de programar, permite la disponibilidad de funciones como: lógicas, de temporización, de conteo que el operario puede acceder a través de lenguaje de control orientado y otras más avanzadas.

Cabe destacar que el diseño integra tanto elementos mecánicos como de control, así como algunos otros dispositivos, para que el sistema funcione de manera adecuada y sea fácil de utilizar. Para la sección de triturado y lavado se utilizan dos láminas que separen estas secciones controladas por un sistema neumático simple por medio del accionamiento de los motores correspondientes a cada sección.

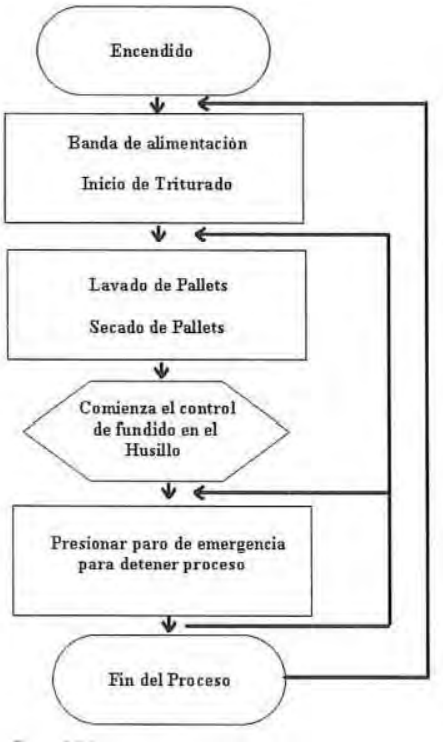


Fig. 9. Diagrama de flujo del sistema.

El ensamble de las piezas que conforman el sistema se muestra en la Fig. 10. Adicionalmente se incluye junto con el sistema de control una pantalla táctil HMI touchscreen Panasonic AIGT0030H3", la cual permite

visualizar todo el proceso paso a paso programado previamente por el PLC, como inicio de la operación, aparecerá en la pantalla una presentación (makiplas) de saludo, el cual desaparecerá 5 después de 5 segundos, en seguida se presentará el menú principal indicando dos opciones manual/automático; si se selecciona *manual*, aparecerá un mensaje en la pantalla, en la cual se maneja cada sección de la máquina por separado que puede utilizarse para mantenimiento de las secciones por separado o en su defecto verificar la operación de cada segmento, como velocidad de la banda de alimentación y otros.

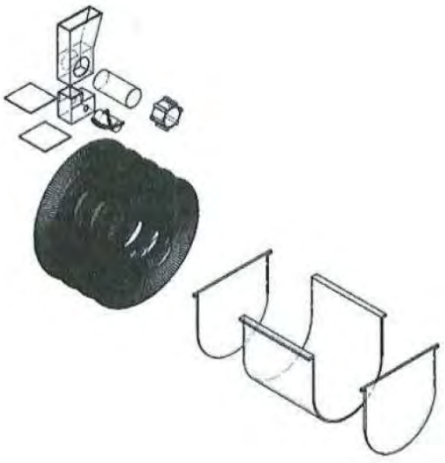


Fig. 10. Esquema del subensamble del sistema.

En modo *automático* realiza la actividad asignada en la programación, donde ya se encuentra establecido el tiempo para cada tarea, así como la secuencia de las mismas Figs.11a, b y c.

a) *b)* *c)*

Fig. 11. a) y b), pantalla del menú principal y modo de selección, y c) modo automático.

La selección del modo automático, termina antes de iniciar la etapa de fundido, ya que si se decide NO llevar a cabo esta operación, se puede entregar el PET triturado. Al finalizar la operación tanto en modo manual como automático aparece una pantalla de ciclo terminado, con lo cual se da por terminado el proceso en modo manual o automático Fig. 12.

Cabe señalar que en ambos modos, es posible detener el proceso en cada etapa o tarea del proceso permitiendo versatilidad al programa y poder verificar cada etapa si es necesario. Con la presentación de la pantalla *fin del programa*, se da por terminado el proceso de reciclaje.

Fig. 12. Muestra la pantalla de fin de proceso.

Conclusiones

El resultado del trabajo de investigación del desarrollo de proyectos como el que aquí se describe, permiten apoyar a sectores de la población que requieren del soporte de los conocimientos de la ingeniería para eficientar procesos productivos que les permitan obtener productos de mejor calidad con costos de producción reducidos, beneficiando a un sector muy grande de la población que no tiene acceso a tecnología de vanguardia. De la misma manera, permite que los estudiantes de ingeniería busquen dar solución a casos objetivos orientados a aplicar sus conocimientos resolviendo o adecuando procesos que permitan la reducción de tiempos y como consecuencia costos de producción. Aunado a lo anterior, el apoyo por parte de gente que se interese en desarrollar máquinas o equipos de menores dimensiones que realicen satisfactoriamente procesos que son semejantes a los de equipos de mayores dimensiones y de muy alto costo, hace que el conocimiento se acerque más a una población que está deseosa de participar en procesos que involucren menor cantidad de recursos principalmente económicos.

4. Referencias

[1] Revista Ambientum. *Reciclado de envases de PET*. Octubre2002. ww.ambientum.com/revista/2002_31/
[2] APREPET. Asociación civil dedicada al fomento de la cultura de reciclado del PET en México. 2006. http://www.aprepet.org.mx/
[3] Asociación Nacional de Industrias de Plástico (ANIPAC A. C.)
[4] BOLTON W. *Mecatronica* 2ª. Edición, 2001, Grupo editorial Alfa Omega, México, 469 pp.
[5] MOOT L. R. *Diseño de Elementos de Máquinas*. 2ª. Edición, 1995, Prentice Hall, USA.
[6] DICKNEIDER, Trudy A. Dickneider Ph. D. Department of chemistry, University of Scranton. 2000.
[7] REDESMA. Red de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente http://www.redesma.org
[8] SMA. Secretaría del Medio Ambiente. El PET y su situación actual en el Distrito federal. http://www.sma.df.gob.mx/solidos.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 5. Volumen 4(1), 5 páginas.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE ACEROS GRADO HERRAMIENTA ENDURECIDOS SUPERFICIALMENTE

(MECHANICAL PROPERTIES OF STEELS TOOL GRADE HARDENING SUPERFICIALLY)

Noe López Perrusquia[1], Marco Antonio Doñu Ruiz[1], David Huitron Sánchez[2], Frumencio Vásquez Ramírez[2], David Leoncio Cruz Rosado[2], Saúl Lara Rangel[2].

Resumen

En este trabajo de investigación se estudia la estimación de las propiedades mecánicas de los aceros AISI W2 y H13 endurecidos superficialmente por el tratamiento termoquímico de borurización. La propiedades mecánicas de resistencia a la fractura de las capas de Fe_2B y FeB formadas en la superficie, se determinó por la técnica de microindentation Vickers a distancias constantes de 15 y 30 μm de la superficie; utilizando cargas de aplicación de 1.96 N y 2.9 N. Las microgrietas generadas en las esquinas e la microidentacion Vickers, como la indentación de la huella, son parámetros experimentales; que se introducen en dos modelos tipo Palmqvist para determinar su resistencia a la fractura (Kc). Posteriormente las capas boruradas fueron evaluadas por el método de difracción de rayos X (XRD), y Espectroscopia de Energía de Dispersión (EDS).
Palabras clave: Borurización, Endurecimiento Superficial, Modelos Palmqvist, Tenacidad a la Fractura.

Summary

This research studies the estimation of the mechanical properties of steels hardened AISI H13 and AISI W2 and superficially boriding thermochemical treatment. The mechanical properties of fracture resistance of the layer of iron boride FeB and Fe_2B formed on the surface, was determined by Vickers microindentation technique at constants distances of 15 and 30 microns of the surface, using loads of 1.96 N and 2.9 N. The microcracks generated in the corners of the Vickers microidentacion as the indentation of the mark, are experimental parameters, which are introduced in two models to determine the type Palmqvist fracture toughness (Kc). Boride layers were subsequently evaluated by the method of X-ray diffraction (XRD) and Energy Dispersion Spectroscopy (EDS).
Keywords: Boriding, Models Palmqvist, Fracture Toughness.

Introducción.

El desgaste en herramentales industriales es una causa principalmente en la industria metal mecánica y fundición y en agentes erosivos en aplicaciones de estampado, troquelad, trefilado y extrusión. Los tratamientos térmicos de estos aceros logran una alta resistencia al desgaste, a la deformación por fractura bajo cargas muy alta.

En los últimos años las tecnologías de deposición de recubrimientos de diferentes tipos son ampliamente utilizados en la industria; estas tecnologías son aplicadas para incrementar las propiedades mecánicas, el tiempo de vida de partes de maquinaria y estructuras. La deposición de materiales en estado sólido, ha sido de un gran auge en esta época para la industria mexicana [1-2]. El crecimiento de capas duras consiste en depositar átomos en la superficie de materiales ferrosos y no ferrosos por diferentes técnicas (nitrurado, carburización, aluminizado, borurado, cementado).

[1] Instituto Politécnico Nacional, Adolfo López Mateos, Zacatenco. México, D.F. Tel. 57296000. E-mails: nlopezp0803@ipn.mx, mdonur0800@ipn.mx

[2] Universidad Politécnica del Valle de México. Av. Mexiquense. Edo. México. Tel. 50626460. E-mails: fruvas@yahoo.com.mx, sanchezhuitron33@gmail.com, ledarc_24@live.com.mx

La difusión de átomos de boro en la superficie del material tiene efecto positivo en la resistencia al desgaste, resistente a la corrosión y alta dureza, obteniéndose una matriz tenaz del substrato [3-4].

La técnica Vickers por microindentación es una prueba no destructiva, y consiste en la aplicación de carga perpendicular a la superficie sobre la capa, lo que genera grietas en las esquinas de la huella de indentación; este tipo de agrietamiento en materiales frágiles como los cerámica y vidrios [5], puede ser de radial media y Palmqvist [7-8] del modo I bajo los conceptos de la mecánica de la fractura lineal elástica [9].

En este trabajo se reporta la determinación de la tenacidad a la fractura, empleando tres modelos de agrietamiento Palmqvist en capas duras, formadas por el endurecimiento superficial en función del tiempo de tratamiento térmico y la profundidad de la capa en aceros grado herramienta. Asimismo, la evaluación en las capas de difracción de rayos X y espectroscopia de energía dispersa EDS.

Desarrollo Experimental

Endurecimiento superficial.

En el presenten estudio se seccionaron probetas de aceros grado herramienta AISI W2 y H13 con dimensiones de 25.4 de longitud y diámetro de 12.5 mm, respectivamente. Las probetas se colocaron en un contenedor de acero inoxidable rodeado de B_4C y posteriormente se introdujeron en una mufla convencional a la temperatura de de 1273 K con tiempos de exposición de 6 y 8 horas. Una vez terminado el tratamiento, se enfrió a temperatura ambiente. Posteriormente se realizó el proceso metalografico y se empleó un microscopio Olympus Metalografico y Software MSQ Plus para la estimación de las capas duras formadas. Por la técnica de difracción de rayos X (XRD) se verificó la presencia de la fase en las capas duras en las probetas de 8 h de tratamiento a la temperatura 1273 K, empleando un equipo D8 FOCU, y para la estimación cualitativa de los elementos aleantes se usó el equipo de Microscopia Electrónica de Barrido (EDS)

Microidentacion Vickers

Las cargas de indentación aplicadas son de 1.96 N a 2.9 N a distancias constantes de 15 and 30 μm tomándose 15 perfiles por cada carga empleada desde la superficie de los aceros grado herramienta, realizándose 20 indentaciones por cada carga y condición de tratamiento. Para la evaluación de la tenacidad a la fractura se emplearon los modelos de agrietamiento tipo Palmqvist de acuerdo a la tabla 1. Los parámetros experimentales de la microindentación son obtenidos de la huella de indentación: la diagonal de indentación (***l***) y longitud de las grietas (***g***), que se estimaron con un equipo Olympus Metalografico; y con el analizador de imágenes Software MSQ Plus. El Módulo Young que se utiliza para la capa de boruro de hierro es de 290 GPa [6-10].

Resultados y discusiones

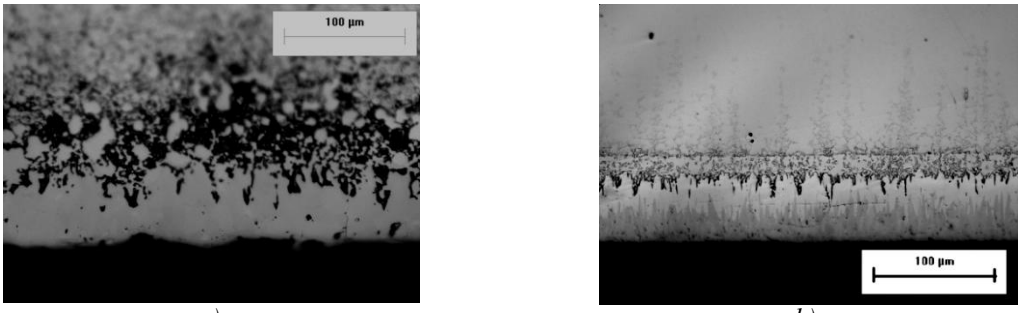
Caracterización de las capas duras

En la Fig. 1 se observa la sección transversal de las probetas endurecidas superficialmente por difusión de átomos de boro.

Tabla 1. Evaluación de la tenacidad a la fractura de tres modelos

Modelos	Referencias
$\mathbf{K_C = 0.015\left(\frac{g}{a}\right)^{1/2}\left(\frac{E}{H_V}\right)^{2/3}\left(\frac{P}{c^{3/2}}\right)}$	[9]
$\boldsymbol{K_C = 0.0264(H_v a)\left(\frac{E}{H_V}\right)^{2/5} g^{1/2}}$	[7]
$\boldsymbol{K_C = 0.0319\left(\frac{P}{l\sqrt{g}}\right)}$	[8]

Kc - tenacidad a la fractura, E - Módulo de Young, H_v – microdureza, P - carga de aplicación, g - longitud de la grieta, a - mitad de la diagonal de la indentación, c - longitud total de la grieta.

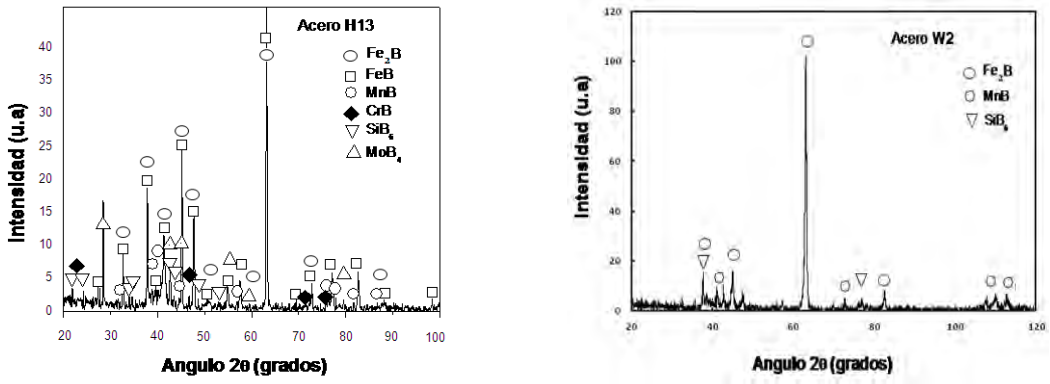


a) *b)*

Fig. 1. Micrografías de la sección transversal del acero grado herramienta endurecida superficialmente, (a) AISI W2 y (b) AISI H13, con 8h tratamiento.

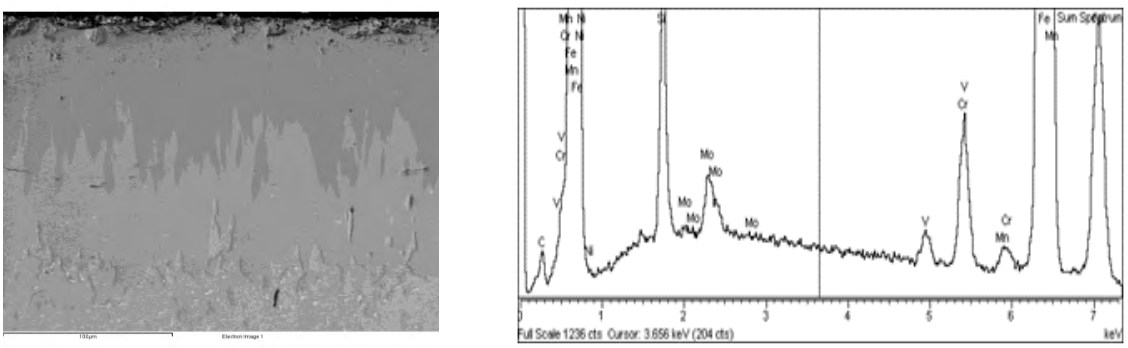
La Fig. 1a presenta la capa Fe_2B del acero AISI W2, y la Fig. 1b presenta las fases Fe_2B y FeB para el acero AISI H13. La formación de las capas es de forma aserrada, con un marcado carácter anisotrópico a temperaturas más altas y / o tiempos largos; esto genera un número cada vez mayor de cristales Fe_2B y FeB para tener contacto con los cristales adyacentes y obligado a mantener una forma acicular.

La presencia de las fases se presenta en la Fig. 2 obtenidas de difracción de rayos X (XRD) para el acero H13 y W2, para probetas a la temperatura de 1273 K con tiempos de 8h. La Fig. 2 nos revela la presencia de fases Fe_2B y FeB; además de la formación de *Mn, CrB,* SiB_6 y MoB_4 en la superficie del metal tratado termoquímicamente por difusión de átomos de boro. En las Figs. 3 y 4 se presentan los análisis obtenidos por EDS. Los resultados presentan la distribución de los elementos cualitativamente como el silicio (*Si*), carbono (*C*), vanadio (*V*), cromo (*Cr*) , molibdeno (*Mn*), y manganeso (*Mg*) en la capa dura.



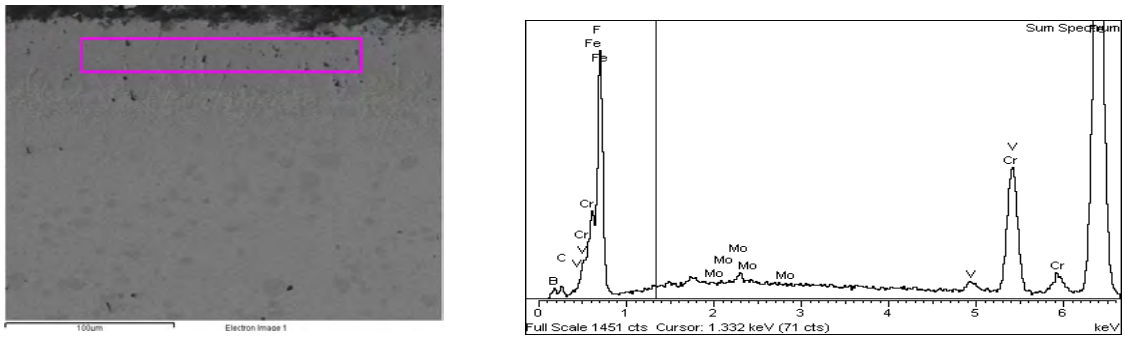
(a) *(b)*

Fig. 2 Patrón de difracción de Rayos X; de los aceros H13 (a) y W2 (b), endurecidos superficialmente.



a) *(b)*

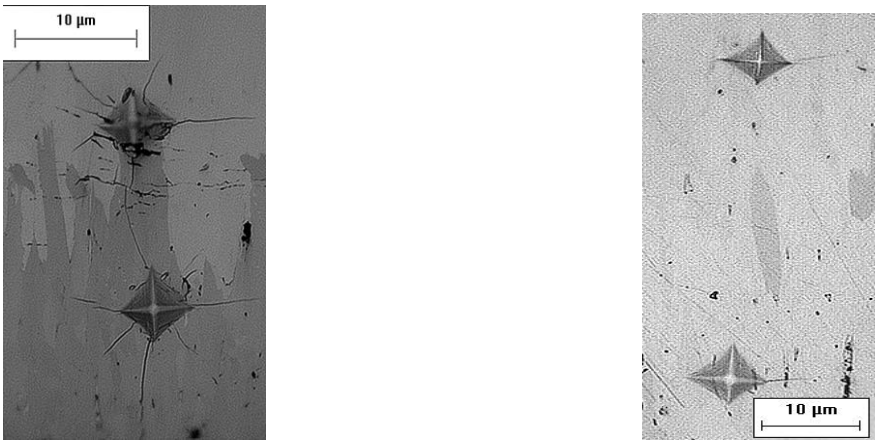
Fig. 3. (a) Micrógrafa de la zona endurecida superficialmente y (b) patrón de EDS. para el acero AISI W2; con tiempo 8 h a 1273 K de tratamiento



(a) *(b)*

Fig. 4 (a) Micrografía de la probeta endurecida y (b) patrón de EDS para el Acero AISI H13; con tiempo 8 h a 1273 K de tratamiento

En la Fig. 5 se observa la huella de indentación y las morfologías de grietas generadas por la técnica Vickers y en la Tabla 2 presentan los resultados de la tenacidad a la fractura K_c a partir de las ecuaciones de la Tabla 1.



(a) *(b)*

Fig. 5. Microindentación Vickers del acero AISI H13 (a) y (b) AISI W2 endurecida superficialmente; aplicando carga de 2.9 N utilizando las temperaturas de 1273 K con tiempos de 8 h. Magnificación 200x

Tabla 2. Evaluación de la tenacidad a la fractura (K_c) con cargas 1.96 y 2.9 N; del acero AISI H 13 y W2 endurecido superficialmente a 1273 K.

Acero AISI °	Tiempo (h)	Distancia desde la superficie (µm)	Kc [MPa $m^{1/2}$] Shetty		Kc [MPa $m^{1/2}$] Niihara		Kc [MPa $m^{1/2}$] T. Laugier	
			1.96 (N)	2.94 (N)	1.96 (N)	2.94 (N)	1.96 (N)	2.94 (N)
H13	6	15	3.09±1.11	3.19±0.78	2.98±0.96	3.17±0.78	2.78±0.78	3.24±1.22
		30	3.39±0.60	4.00±0.25	3.13±1.11	4.05±0.81	3.55±0.96	4.32±1.09
	8	15	2.42±0.91	2.73±0.90	2.10±0.97	3.07±0.89	2.75±0.93	2.98±1.12
		30	3.16±1.0	3.01±0.1	3.09±1.34	3.21±0.97	3.31±0.90	3.19±1.35
W2	6	15	3.00±0.88	2.98±0.76	3.11±1.16	3.61±0.94	3.34±0.78	3.14±0.93
		30	3.45±0.75	3.08±0.83	3.20±1.00	3.96±1.98	3.82±0.81	3.72±1.09
	8	15	2.89±0.74	3.01±1.60	2.81±1.97	3.06±1.68	2.95±0.87	3.75±1.03
		30	4.10±1.00	4.19±1.09	4.52±1.24	3.18±0.19	3.24±0.87	3.13±1.07

Se reconoce que las propiedades mecánicas de las fases Fe_2B y FeB presentes en los aceros; dependen de la composición de acero y del tipo de morfología de la capa de los boruro de hierro formado en la superficie de la matriz [11]. Se encontró la dureza promedio de las capas de 1410 a 2112 HV ± 50. Así mismo las capas boruro poseen presencia de tensiones residuales térmica producida por el crecimiento boruro y tensiones de compresión residuales; que pueden ser beneficiosas porque aumentan la capacidad de carga de tensión estática [12]. La tenacidad a la fractura decrece, con el incremento a la temperatura como se tiene en este trabajo; como otros con anterioridad desarrollados para capas delgadas [13-14].

Conclusiones

El presente estudio de los aceros AISI H 13 y W 2 endurecidos superficialmente por difusión de átomos de boro; presentan una morfología de capas aserradas formadas en la superficie; El acero AISI W2 muestra una sola Fe_2B, el acero AISI H13 tiene la formación de dos fases Fe_2B y FeB; esta tipos de fases presentes se debe al medio borurante B_4C y activadores (esencialmente KBF_4) para cada acero a estudio.

Con los modelos utilizados para determinar la tenacidad a la fractura del boruro de hierro formado en la superficie encontramos que para el acero AISI H13 los valores obtenidos son de 2.19-4.35 [MPa $m^{1/2}$] y el acero AISI W2 están de 2.81-4.52 [MPa $m^{1/2}$].

La tenacidad a la fractura determinada, en la capa de boruro del acero H13 borurado es menor que la de acero W2 A; debido a los elementos de aleación, cristalografía y morfología presentes; que son importantes para la obtención de una gran dureza en la superficie del acero.

El tipo de grietas formadas en las capas FeB-Fe_2B, es debido a la altas tensiones residuales en la capa y la diferencia entre los coeficientes de expansión térmica de los las fases de boruro de hierro.

Agradecimientos

Este estudio de investigación ha sido apoyado por CONACyT, PROMEP en colaboración del Grupo de Ciencia e Ingeniería de Materiales.

Referencias

[1] ASM Handbook. Casting, Volume 15 of the 9th Edition Metals Handbook, 1362-1365
[2] H.Kunst and O.Schaaber: Harterei- The Formation of a Soft Layer in Borided Hot Work Die Steels. Tech Mitt. Vol. 22 (1967), pp. 1-25.
[3] M. Carbucicchio, G. Palombarini. Effects of Alloying Elements on the Growth of Iron Boride Coatings. J. Mater. Sci. Lett. Vol. 6 (1987), pp.1147-1149.
[4] K. Holmberg and A. Matthews. Properties, Techniques and Applications in Surface Engineering. Coatings Tribology, 56 Ed. Elsevier Science Press, 65-70, 1994
[5] C. B. Ponton and R. D. Rawlings. "Vickers Indentation Fracture Toughness Test. Part 2: Application and Critical Evaluation of Standardized Indentation Toughness Equations". Materials Science and Technology, 5 (1989), 961-976.
[6] Ugur Sen, Saduman Sen, Sakip Koksal, Fevzi Yilmaz. Fracture toughness of boride formed on boronized ductile iron. Materials and Design (2005) 175-179.
[7] K. Niihara. *A fracture mechanics Analysis of Indentation –induced Palmqvist Crack in Ceramics.* Journal of Materials Science Letters 2 (1983) 221-223
[8] D.K. Shetty, I.G. Wright, P.N. Mincer. Indentation Fracture of WC-Co Cermets. J. Mater. Sci. 20 (1985) 1873-1882.
[9] Laugier M.T. New Formula for Indentation Toughness in Ceramics. *Journal of Materials Science Letters*, **6**:355-356, 1987.
[10] Ibrahim Ozbek, Cuma Bindal. Mechanical Properties of Boronized AISI W4 Steel. Surface and Coatings Technology 154 (2002) 14–20
[11] I. Campos-Silva , N. López-Perrusquia , M. Ortiz-Dominguez , U. Figueroa-López , E. Hernández-Sánchez. Measurement of Fracture Toughness in AISI 1018 Borided Steels by Vickers Indentation. *Defect and Diffusion Forum.* Vols. 283-286 (2009) pp 675-680
[12] H. Zhang, D.Y. Li, Comparison of Surface and Cross-Sectional Indentation in a Coating. Surf. Coat. Technol. 197 (2005) 137-141.
[13] B. R. Lawn. "Fracture Mechanics of Ceramics". Edited by R. C. Bradt, A. G. Evans, D. P. H. Hasselman and F. F. Lange (Plenum, New York, 1983) Vol. 5, 1-25.
[14] I. Uslu , H. Comert , M. Ipek , O. Ozdemir , C. Bindal. "Evaluation of Borides Formed on AISI P20 Steel, Materials and Design 28 (2007) 55–61.

EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 67. Volumen 4(1), 8 páginas

CONCEPTO DE UN DISPOSITIVO PARA ENSAYOS DE IMPACTO DE BAJA VELOCIDAD Y PRECARGA EN TENSIÓN SOBRE PROBETAS PLACA DE MATERIAL COMPUESTO

Víctor Manuel Delgado Romero[1], Hilario Hernández Moreno[2], Pedro Alejandro Tamayo Meza[1], Ulises Reyes Zamora[2]

Resumen

Durante la vida en servicio de componentes estructurales manufacturados con materiales compuestos, estos pueden encontrarse expuestos a cargas de impacto las cuales pueden tener un origen diverso como la caída de alguna herramienta durante las operaciones de mantenimiento de aeronaves o incluso por objetos extraños sobre la pista al aterrizaje o despegue. Cuando estos impactos son producidos los componentes se encuentra sometidos a las cargas normales de operación, y por ende estados de esfuerzo no nulos iníciales, los cuales no son considerados en los procedimientos estandarizados de ensayos de impacto. En el presente texto es mostrado el diseño conceptual de un dispositivo para ensayos de impacto y precarga en probetas placa de material compuesto, este diseño fue creado mediante el software UGS NX® 6.0. Además, es presentada una simulación numérica desarrollada con Ansys® v12.0. Mediante esta simulación es comprobada la viabilidad del diseño para los dos principales casos que se consideran deben de ser cumplidos, al menos durante la primera etapa de la investigación, estos son: Primero.- la estimación de la frecuencia natural de vibración para cada uno de los respectivos modos y, Segundo.- proponer un mecanismo capaz de producir una precarga en tensión.

Palabras clave: diseño conceptual, impacto, precarga, material compuesto, simulación numérica.

Summary

During the service life of structural components manufactured with composite materials, these could be exposed to impact loads induced by different causes like as drop-weight of some tool in the aircrafts' diary maintenance operations or damage at take-off or landing by projection of objects on the runway. When these impacts are presented the components are exposed to normal operation loading, and by consequence non zero initial state of stress, which are not considered in the standardized impact testing procedures. In present text is shown the conceptual design of an impact testing device including preload for composite shell specimens, this design was created employing software UGS NX® 6.0. Besides, it's presented a numerical simulation in Ansys® v12.0. With this simulation is checked the efficiency of this design for the principal cases considered to be satisfactory, these are: first, a valuation of natural frequency vibration for each respective mode and, second, propose a mechanism able to produce a preload in tension.

Keywords: conceptual design, impact, preload, composite material, numerical simulation.

Introducción

Una de las líneas de investigación sobre materiales compuestos en la ESIME Unidad Ticomán es el diseño de dispositivos de prueba, y por el momento se carece de uno que permita realizar ensayos de impacto con base en procedimientos estandarizados. Para ello, este diseño se propone con base en las normas establecidas para ensayos de impacto y compresión después del impacto en placas de material compuesto (propiedades de resistencia remanente), tales como *ASTM D7136* en [1] y *D7137* en [2], respectivamente, las cuales tratan sobre impactos de baja velocidad.

[1] IPN SEPI ESIME Unidad Azcapotzalco, Av. Granjas N°682. Col. Santa Catarina. Del. Azcapotzalco. CP. 02550, México. Distrito Federal, Teléfono: (+52)55-57296000. Ext. 64530, E-mail: vmdelgador@hotmail.com, ptamayom@ipn.mx.

[2] IPN SEPI ESIME Unidad Ticomán, Av. Ticomán N°600. Col. San José Ticomán. Del. Gustavo A. Madero. CP. 07340, México. Distrito Federal, Teléfono: (+52)55-57296000. Ext. 56104, E-mail: hihernandezm@ipn.mx, ulirezu@hotmail.com

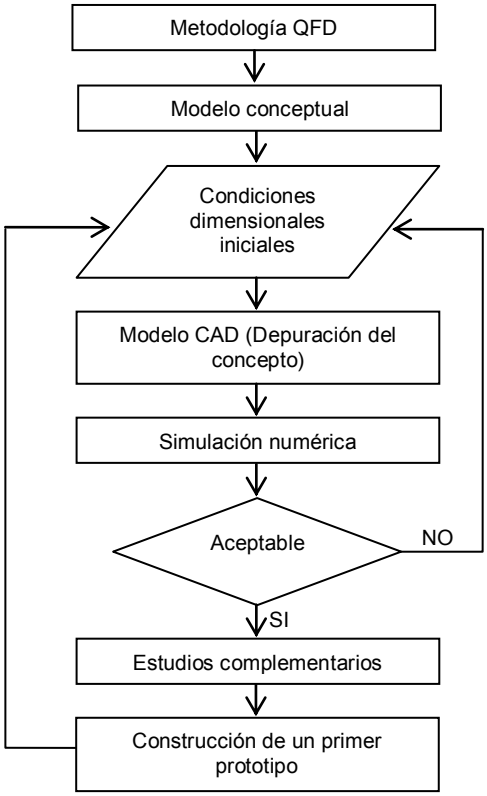


Fig. 1. Metodología de diseño.

Como complemento se desea medir la resistencia de probetas de material compuesto posterior a un impacto, para la condición en que son inducidas pequeñas deformaciones (a tensión) en su plano, previo y manteniéndose durante los ensayos de impacto.

La importancia de estudiar un ensayo de impacto de baja velocidad radica en la generación de flexión; gran cantidad de daño interno. La cual produce: rotura de matriz (concentración de esfuerzos que producen una fisura, la cual se propaga a través de la matriz), delaminación (despegue entre las láminas adyacentes) y rotura de fibra (propagación perpendicular de fisuras respecto a la orientación de las fibras). Todo lo contrario al ensayo de impacto de alta velocidad la cual produce un corte en la placa del material; cuyo daño es más fácil de identificar y reparar.

Metodología

Partiendo de una metodología de diseño objetiva; mostrada en la Fig. 1. La cual se basa en el despliegue de la función de calidad o QFD (Quality Funtion Deployment), descrita a detalle en [5], [11], [12]. La metodología QFD es basada en las necesidades del cliente, debido a los pasos tan extensos de esta metodología se recomienda consultar específicamente el trabajo realizado por *Delgado* en [7], para apreciar más a detalle el diseño de este dispositivo. Empleando la metodología nombrada se cumplen dos objetivos principales:

Primero: obtener el diseño conceptual de un dispositivo para ensayos de impacto de baja velocidad y precarga a tensión sobre probetas de material compuesto,

Segundo: los ensayos de impacto deben ser estandarizados, de acuerdo con *ASTM D7136* en [1] y *D7137* en [2].

Una consideración muy importante es la planteada por *Gero* en [10], donde se menciona que el comienzo de todo diseño puede ser un concepto (Modelo conceptual), desarrollado a mano alzada, mismo que es depurado posteriormente mediante un modelado en software de diseño asistido por computadora (CAD). Posteriormente, se entra al proceso de diseño en el cual deben ser definidas las variables dimensionales (Condiciones dimensionales iniciales); a partir de las que son generados los componentes del proyecto en diseño (Modelo CAD). Para ello se parte de una investigación sobre los ensayos de impacto y todo lo necesario que permita dimensionar el dispositivo. A continuación, se procede a la comprobación y efectividad del modelo obtenido, mediante una simulación numérica. En donde deben ser cumplidos dos casos principales identificados:

Primero: la estimación de la frecuencia natural de vibración para cada uno de los respectivos modos ya que el dispositivo diseñado debe contar con la suficiente altura para liberar la energía de impacto necesaria en la probeta para obtener un daño estándar mensurable; ya que se pretende que este dispositivo funcione por efectos de la aceleración de la gravedad al liberarse una masa móvil de impacto desde cierta altura y,

Segundo: proponer un mecanismo capaz de producir una precarga en tensión mensurable sobre el plano de la probeta y estimar la fuerza de precarga máxima aplicada.

Una vez cumplida la simulación numérica se procede a una evaluación de acuerdo con los resultados obtenidos y criterios de diseñador. De aceptarse como válidos los resultados se continua con estudios complementarios, como: la selección de materiales, planos genéricos, o todo aquello necesario para que el diseño satisfaga los objetivos principales. Si no, se regresa y se analizan las condiciones dimensionales o en su defecto puede llegarse a analizar de nuevo el concepto y probar con algún otro.

Finalmente, como una etapa en donde se reúne todo el trabajo y esfuerzo de un proyecto se propone la construcción de un primer prototipo, completando un primer ciclo de vida del producto. El cual será evaluado respecto a su condición crítica de uso y en caso de ser necesario los componentes serán rediseñados a fin de satisfacer las necesidades.

Determinación del daño

Para lograr este diseño investigo sobre la normatividad que rige a los ensayos de impacto, para ello considerando a [1], [2]; se sabe que la probeta debe tener una dimensión de 100mm × 150mm, por lo tanto esto permite saber que la base de pruebas donde esta sea colocada, deberá tener el suficiente espacio para cumplir con esta condición. Además de otras recomendaciones como que se mantenga fija la probeta durante los ensayos y alineada al centro de un elemento representativo de la masa móvil por el cual será liberada la energía, este es el llamado: impactador, mostrado en la Fig. 5(a). Un impactador convencional debe tener ciertas características como: punta hemisférica, superficie de la punta lisa con diámetro de 16 ± 0.1 mm, dureza en la punta de 60 a 62 HRC. Además de las características de normatividad en ensayos de impacto mencionados arriba, es necesario conocer sobre los conceptos y variables que están presentes en los ensayos de impacto para poder dimensionar el dispositivo, estas son:

La energía nominal de impacto en (1), se refiere a la cantidad de energía necesaria que debe ser liberada sobre una probeta placa de material compuesto en función de su espesor para causar un daño mensurable y estandarizado.

$$E_n = C_E h \tag{1}$$

donde: E_n - es la energía nominal de impacto (J).
C_E - es la constante de relación de energía de impacto especifica de la probeta (6.7 J/mm).
h - es el espesor de la probeta de material compuesto (mm).

La altura de impacto en (2), es la longitud necesaria que debe recorrer cierta cantidad de masa (masa móvil), para liberar la energía nominal de impacto. Esto en condiciones de gravedad, es decir: la altura que requiere un objeto para golpear a otro, para liberar cierta cantidad de energía.

$$H = \frac{E_n}{m_d g} \tag{2}$$

donde: H - es la altura de impacto (m).
m_d - es la masa móvil (kg).
g - es la constante de aceleración para la gravedad (9.81 m/seg^2).

Por último, al ser liberada una masa móvil se alcanza cierta velocidad, misma que golpea a su objetivo a una llamada velocidad de impacto, obtenida por (3), siendo esta la única considera de acuerdo a lo expuesto en [9].

$$V_g = \sqrt{2gH} \tag{3}$$

donde: V_g - es la velocidad de impacto (m/seg).

Gráficas de operación para ensayos de impacto

La clave de dichos ensayos es conocer la altura de impacto necesaria a través de la cual será liberada la energía nominal de impacto. En este diseño se planteó obtener inicialmente los espesores de probeta, para ello se tomó como consideración la Tabla 1, extraída de lo expuesto por *ASTM D7136* en [1]. En ella son presentadas las secuencias de apilamiento recomendadas para las placas de material compuesto a ensayar,

tomando en cuenta estos datos, se tiene que el espesor máximo por probeta $h_{max} = 8mm$ y el mínimo es $h_{min} = 4\ mm$. El intervalo de espesor obtenido no necesariamente debe ser el empleado para los ensayos de impacto, si no que es solamente el recomendado.

Empleando la Ecuación (1), es posible determinar el nivel de energía nominal de impacto obtenido por espesor de probeta, mismo que es mostrado en la Fig. 2. Posteriormente, mediante (2) es determinada la altura de impacto, la cual ayuda a determinar la altura del dispositivo. La altura máxima desde la cual debe liberarse la masa móvil para liberar la cantidad de energía necesaria en el espesor de 8 mm, corresponde a $H_{max} = 1.2142\ m$, por lo que el mismo dispositivo deberá medir más que esta dimensión. La gráfica para esta condición dimensional es mostrada en la Fig. 3, en esta gráfica se presentan incrementos unitarios en el espesor de probeta, siendo entonces: $h_1 = h_{min}$, $h_2 = 5\ mm$, $h_3 = 6\ mm$, $h_4 = 7\ mm$ y $h_5 = h_{max}$. Mientras que los intervalos de masa móvil fueron propuestos durante el proceso de diseño, teniendo un máximo de $m_{dmax} = 8.5\ kg$ y un mínimo de $m_{dmin} = 4.5\ kg$, respecto a la dimensión de los incrementos de masa móvil (*1 kg* por cada incremento de masa móvil entre los intervalos). Cabe destacar que en la normatividad de ensayos de impacto se recomienda que la masa móvil sea de por lo menos 5.5 ± 0.25 kg, incluyendo también la masa del impactador en esta cantidad. Por último, en la Fig. 4 es mostrada la gráfica de velocidades que se obtendrá respecto a cada espesor de probeta.

Modelo del dispositivo y simulación numérica

Obsérvese que una vez determinadas las características principales para el dimensionado del dispositivo, se entra en la etapa en la cual el modelo conceptual debe ser depurado. Esto permite una interactuación entre cómo se desea que sea visto el modelo y el espacio disponible entre los componentes que se desean les de funcionamiento. En la Fig. 5 (a). Es presentado el modelo CAD resultante. Una vez que se tiene tanto depurado como dimensionado al concepto, se procedió a crear un modelo numérico, mostrado en la Fig. 5 (b). Para lograr esto se emplearon los materiales que se presentan en la Tabla 2, cuyas propiedades mecánicas fueron tomadas de [3], [6]; para los distintos componentes que conforman al dispositivo, siendo utilizadas principalmente las propiedades mecánicas del Acero AISI 1020. Este permitió simular el primer caso principal que debe cumplir el diseño para validad un funcionamiento óptimo debido a la altura del mismo: la estimación de la frecuencia natural de vibración para cada uno de sus respectivos modos, mostrados en la Fig. 6. Mientras que en la Tabla 3, son presentados los resultados obtenidos por esta primera simulación numérica. Obsérvese que se tiene especial interés en el primer modo y su respectiva frecuencia natural de vibración, siendo esta de $\omega_1 = 12.031$ Hz, la validación de esta frecuencia se realizara una vez construido un primer prototipo; simulando su condición de uso crítico y mediante sensores de vibración en distintas posiciones que permitan estimar si la frecuencia obtenida al liberar la masa móvil es menor o no a la primera frecuencia natural de vibración previamente señalada por la simulación numérica.

Tabla 1. Secuencia de apilamiento recomendada para placas de material compuesto.

Espesor nominal por cada capa		**Cantidad de capas**	**Secuencia de apilamiento $[45/-45/0/90]_{NS}$**
Mínimo, mm	Máximo, mm		
0.085	0.100	48	$[45/-45/0/90]_{12S}$
0.100	0.130	40	$[45/-45/0/90]_{10S}$
0.130	0.150	32	$[45/-45/0/90]_{8S}$
0.150	0.180	28	$[45/-45/0/90]_{7S}$
0.180	0.200	24	$[45/-45/0/90]_{6S}$
0.200	0.250	20	$[45/-45/0/90]_{5S}$
0.250	0.360	16	$[45/-45/0/90]_{4S}$
0.360	0.500	12	$[45/-45/0/90]_{3S}$
0.500	1.000	8	$[45/-45/0/90]_{2S}$
1.000	1.500	4	$[45/-45/0/90]_{S}$

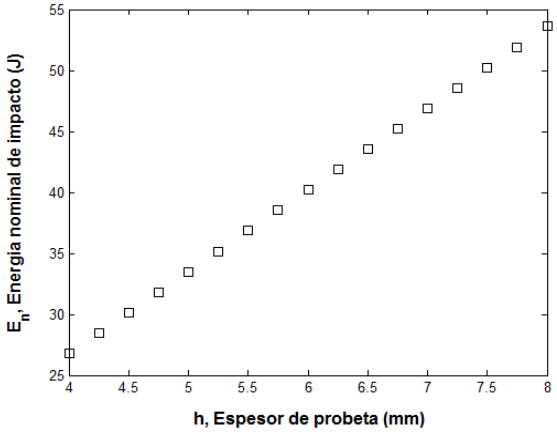


Fig. 2. Tendencia lineal en la liberación de energía nominal de impacto respecto a cada espesor de probeta.

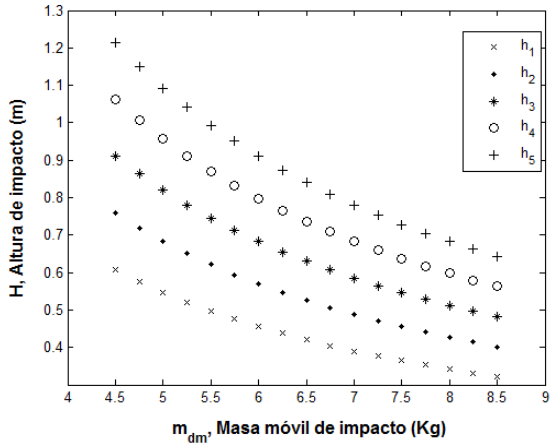


Fig. 3. Comportamiento de la altura de impacto en función de la masa móvil de impacto y su influencia respecto a cada espesor de probeta.

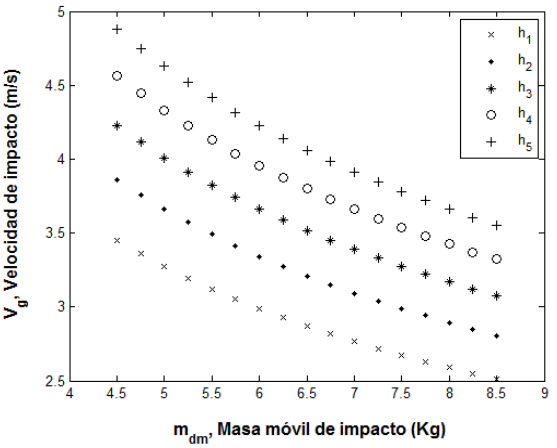


Fig. 4. Comportamiento de la velocidad de impacto en función de la masa móvil de impacto y su influencia respecto a cada espesor de probeta.

Para resolver el segundo caso, se considera que la Fig. 7 (a), representa un acercamiento al mecanismo generador de la precarga en donde se señala al elemento a través del cual será medida la fuerza de precarga (elemento auxiliar de precarga). Se pretende que se genere un movimiento lineal en las mordazas que sujeten a la probeta de material compuesto cada vez que se produzca un giro en el volante; esto produce una pequeña

deformación sobre la probeta de material compuesto. Mientras que la Fig. 7(b) es el modelo numérico del elemento auxiliar. El cual al ser sometido bajo sus condiciones normales de uso y utilizando para su construcción un Acero AISI 9840, se obtiene el diagrama esfuerzo normal vs deformación total en el eje *x* de la Fig. 8. Obsérvese que los resultados obtenidos permitieron determinar que la máxima fuerza de precarga que puede ser aplicada a la probeta es de $F_x = 19.38\ N$, con un factor de seguridad de $FS. = 3.10$, respecto al esfuerzo de cedencía σ_y.

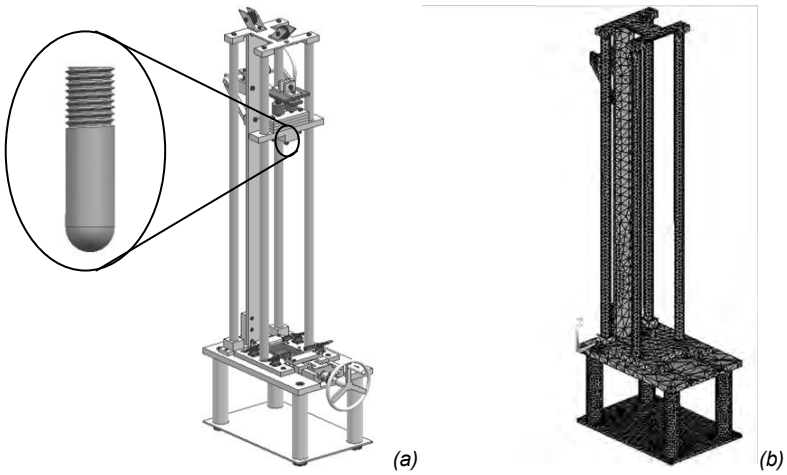


Fig. 5. (a) Modelo CAD del dispositivo; con detalle al impactador y, (b) Modelo numérico del dispositivo.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de los materiales selectos para el dispositivo.

Propiedad mecánica	Materiales		
	Acero AISI 9840	**Acero AISI 1020**	**Aluminio aleación 6082**
E (N/m^2)	2.00×10^{11}	2.05×10^{11}	6.30×10^{10}
σ_y (N/m^2)	1.10×10^{9}	2.05×10^{8}	2.40×10^{8}
σ_u (N/m^2)	1.24×10^{9}	3.08×10^{8}	2.60×10^{8}
τ_u (N/m^2)	6.20×10^{8}	1.54×10^{8}	1.30×10^{8}
ρ (Kg/m^3)	7850	7870	2700
γ (-)	0.29	0.28	0.30

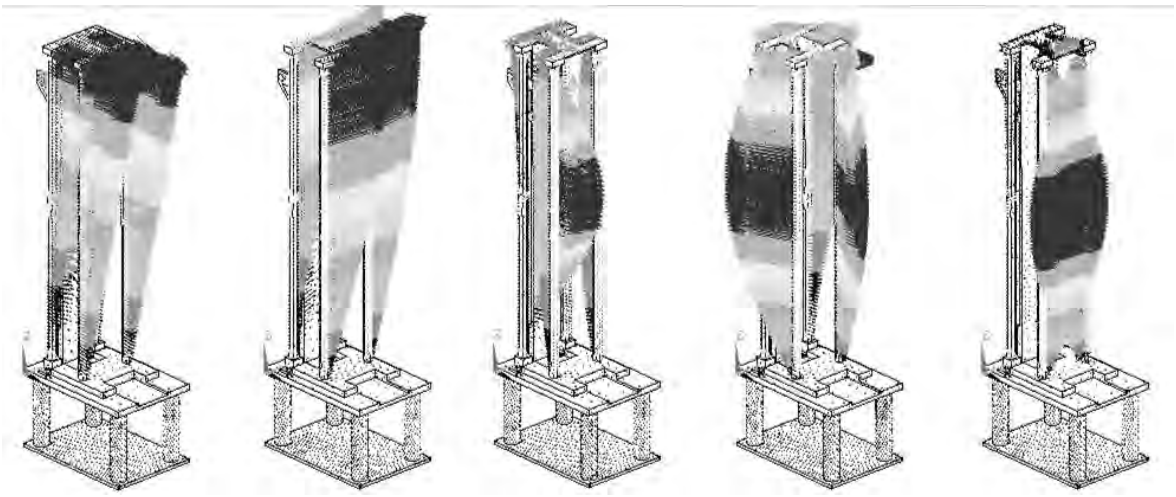


Fig. 6. Comportamiento de los primeros cinco modos de vibración del dispositivo.

Tabla 3. Valores de las frecuencias naturales de vibración del dispositivo.

Modo de vibración	Frecuencia ω (Hz)
1	12.031
2	24.718
3	32.222
4	45.936
5	62.145

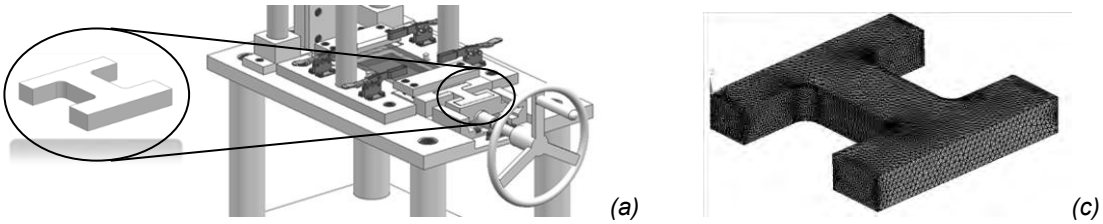


Fig. 7. (a) Acercamiento al mecanismo generador de la precarga; con detalle al elemento auxiliar de precarga y, (b) Modelo numérico del elemento auxiliar de precarga.

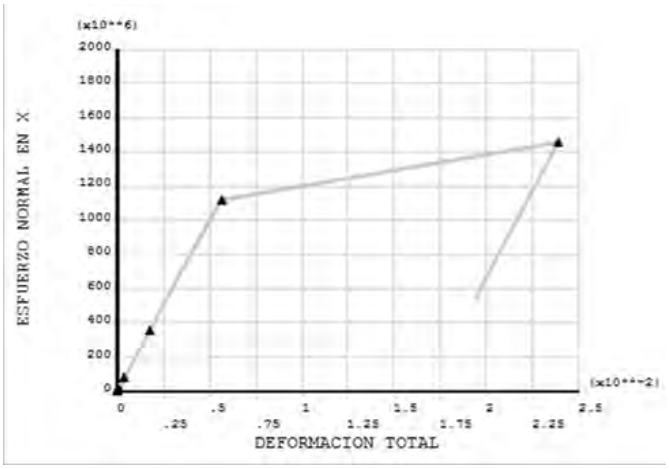


Fig. 8. Diagrama carga vs desplazamiento.

Plano genérico

Finalmente, en la Fig. 9, se presenta el plano genérico (acotación en mm) del dispositivo, mismo que ha sido llamado como DEIPEC. El plano presentado es genérico ya que este puede ser modificado de acuerdo con la disponibilidad tecnológica del fabricante y adecuaciones al diseño.

Discusión

El diseño que ha sido presentado es parte de una primer proceso en el cual se ha planteado el concepto de un dispositivo para ensayos de impacto de baja velocidad y precarga en tensión sobre el plano de probetas placa de material compuesto, el cual, resolverá un problema que se tiene dentro de la ESIME UT, permitiendo estudiar la resistencia estructural de probetas placa bajo condiciones de impacto de baja velocidad. El proyecto que ha sido presentado ha dejado algunos nichos de oportunidad para investigaciones posteriores tales como una posible adaptación al mecanismo generador de la precarga, es decir, idear la forma de agrupar todos sus componentes en uno solo. Los dibujos obtenidos y detallados por *Delgado* en [7], son dibujos de definición genéricos, los cuales pueden ser adaptados a los procesos de manufactura que resulten más convenientes, según la disponibilidad tecnológica del fabricante, por lo que algunas dimensiones podrían modificarse, así como la especificación de los materiales en los componentes, siempre y cuando no sea comprometida la capacidad de resistencia del dispositivo o la seguridad para el operario.

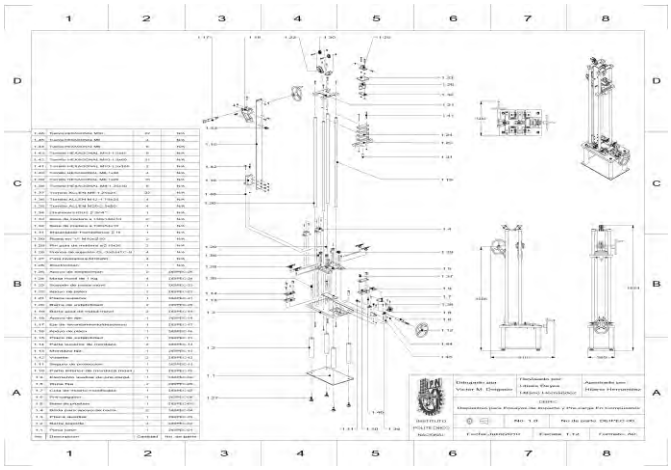


Fig. 9. Plano genérico del dispositivo.

Por lo que de elegirse materiales diferentes a los propuestos, se recomienda siempre realizar una simulación numérica para la obtención de las frecuencias naturales de vibración, como la mostrada en el presente trabajo.

Finalmente, como último trabajo a futuro, en donde serán culminadas todas las etapas de un proceso de diseño, se plantea la manufactura de un primer prototipo. Inicialmente esperando un funcionamiento optimo para impactos de baja velocidad y posteriormente ya sea adaptando el diseño que se tiene o produciendo otro, lograr un dispositivo para ensayos de impacto de alta velocidad. Esto tendrá la intensión de estudiar el comportamiento de materiales compuestos debido a los dos diferentes tipos: impactos de baja velocidad (flexión en la probeta; rango de velocidad de 0 m/s a 30 m/s) e impactos de alta velocidad (corte en la probeta; rango de velocidad de 31 m/s a 200 m/s). Para más detalle sobre estos tipos de ensayos, se recomienda consultar los trabajos desarrollados en [4], [8].

Reconocimientos

Todos los autores, desean agradecer al Comité de CIMEEM 2011, por tomarse el tiempo para revisar este texto, esperando recomendaciones que permitan enriquecerlo.

El Autor Víctor Manuel Delgado Romero, desea agradecer al IPN, a ESIME UA y ESIME UT la oportunidad brindada para demostrar todo de lo que es capaz.

Referencias

[1] Norma ASTM D7136/D7136M-05, *Measuring the damage resistance of a fiber-reinforced polymer matrix composite to a drop-weight impact event,* 2005.
[2] Norma ASTM D7137/D7137M-05, *Test method for compressive residual strength properties of damaged polymer matrix composite plates*, 2005.
[3] ASM Handbook, *Materials selection and design*, ASM International, 1997, Volume 20.
[4] Hou J.P., Petrinic N., Ruiz C., Hallet S.R., "Prediction of impact damage in composite plates", *Composites Science and Technology*, Vol. 60, 2000, pp. 273-281.
[5] Alcaide J., Diego J., Artacho M., *Diseño de producto: Métodos y Técnicas*, 4ta. Edición, 2001, Alfa Omega, Valencia, España.
[6] Ashby M.F., *Materials selection in mechanical design*, Butterworth-Heinemann, 2011, EUA.
[7] Delgado Romero V.M., *Diseño conceptual y de detalle de un dispositivo para ensayos de impacto y precarga a tensión unidireccional en materiales compuestos*, Tesis para la obtención del grado de Ingeniero en aeronáutica, IPN ESIME Ticomán, 2010, Distrito Federal, México.
[8] C. Sheng-Tsong, L. Yie-Yih, C. Yuang-Chang, O. Ching-Chong. Low Impact Behavior of Prestressed Composite Laminates. *Materials, chemistry and physics*, vol. 47. 1997.
[9] Manual Instron Dynatup 8250HV Drop Weight Impact Tester. *Operating Instructions Handbook.pdf.* 2007. www.instron.com .
[10] Gero J., *Advances in formal design methods for CAD*, 1ra. Edición, 1996, Chapman & Hall, Londres, Inglaterra.
[11] García Melón M., *Fundamentos del diseño en ingeniería*, 2010, Limusa, Valencia, España.
[12] Murcia J.D., *Proyectos: Formulación y criterios de evaluación*, Alfa Omega, 2009. Bogotá, Colombia.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 73. Volumen 4(1), 8 páginas

SIMULACIÓN DE SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE (SMF) MEDIANTE REDES DE PETRI COLOREADAS

Paulo Sergio Cornejo Guerra[1], J. Yáñez[1], A. Noriega[1], Antonio Ávalos[2]

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo modelar el comportamiento de un Sistema de Manufactura Flexible (SMF) por medio de Redes de Petri Coloreadas (RPC) con la finalidad de describir el comportamiento dinámico de su proceso de manufactura el cual consiste en maquinar dos tipos de productos (materia prima): cubo y pirámide, cuyo ensamble constituye el producto final. Una vez que la simulación cumpla con el programa de producción previamente establecido, basado principalmente en el tiempo de producción de una pieza, se procederá a la implementación de las instalaciones del sistema.
Palabras Clave: Sistema de Manufactura Flexible, Automatización, Redes de Petri, Simulación.

Summary

The present investigation aims modeling the behavior of a system of flexible manufacturing (SMF) by means of Colored Petri Nets (RPC) with the aim of describing the dynamic behavior of its manufacturing process which consists in contrive two types of products (raw material): cube and pyramid, whose ensemble is the final product. Once the simulation meets the production program previously established, based mainly on the time of production of a piece, he shall be to the implementation of system installations.
Keywords: Flexible Manufacturing, Automation, Petri Nets, Simulation.

Introducción

El alto grado de automatización de los SMF ha desarrollado el uso de herramientas de simulación con la finalidad de modelar el proceso antes de la implementación del sistema y requerir los recursos necesarios que cumplan las característica de este como son los tiempos de fabricación y volumen de producción. De igual forma una de las características de estos sistemas es su capacidad para realizar cambios (flexibilidad) al proceso los cuales antes de implementarse deben ser simulados con la finalidad de establecer políticas adecuadas para el diseño de un nuevo programa de producción.

Las RP han demostrado ser una herramienta eficaz para simular el comportamiento de los SMF [1,3], y son base para realizar su automatización ya que describen las actividades que se realizan en el proceso, los eventos que determinan su inicio y conclusión y los tiempos en que se realizan. De igual forma se visualiza la secuencia y paralelismo de las tareas llevadas a cabo y permiten establecer modelos matemáticos para analizar los conflictos que el sistema pudiera presentar y tomar decisiones adecuadas de solución.

Las RP se definen como un gráfico constituido por 3 elementos principales [1,3]:

a).- Lugares: Representan tareas o actividades a realizar, disponibilidad de recursos como son robots, estaciones de trabajo, banda transportadora. Los lugares se representan por medio de un círculo u óvalo.
b).- Transiciones: Indican el comienzo o fin de actividades. Se representan por medio de barras.
c).- Arcos: Unen los lugares con las transiciones.

Las marcas o *tokens* son colocados dentro de los lugares, indican órdenes dentro del sistema o bien los materiales a ser procesados. Se representan por medio de puntos (•). La siguiente notación es utilizada para representar a las PN:

[1,2] Instituto Tecnológico de Querétaro, Av. Tecnológico esq. M. Escobedo, Colonia Centro Histórico, C. P. 76000. Santiago de Querétaro Qro. E-mail: paulo_guerra2000@yahoo.com, [2] avaloso@mail.itq.edu.mx

$$Z = (P, T, I, O, m_o) \quad (1)$$

donde: $P = \{p_1, p_2, ..., p_n\}$ es un conjunto de n lugares.

$T = \{t_1, t_2, .., t_m\}$ es un conjunto de m transciciones.

Se debe cumplir que $P \cup T = 0$, $P \cap T = 0$. Es decir, ambos conjuntos son excluyentes.

I es la matriz de función de entrada. $PxT \rightarrow \{0,1\}$, especifica los arcos dirigidos de los lugares hacia las transiciones.

O es la matriz de función de salida. $PxT \rightarrow \{0,1\}$, especifica los arcos dirigidos de las transiciones hacia los lugares

m_o es el vector inicial de marcas.

El comportamiento dinámico de las RP se realiza por medio del disparo de las transiciones, y para ello el lugar unido a la transición debe contener por lo menos tantas marcas como indique el peso del arco. La siguiente ecuación rige lo anterior, sea $m'(p)$ en un instante dado,esta produce una marca $m'(p)$, después de ser disparada.

$$m(p_i) = m'(p_i) + O(p_i, t) - I(p_i, t) \text{ para } i = 1,2,....., P. \quad (2)$$

Una RP debe cumplir las siguientes características para garantizar su efectividad:

a) Limitación: La cantidad máxima de marcas en cualquier p_i lugar de la RP debe ser menor o igual que un valor k, es decir $m(p_i) \leq k$.

b) Vivacidad: Siempre debe ser posible disparar cuaquier transición de la red.

c) Reversibilidad: Todo lugar deber nuevamente poder ser disparado.

Estas RP permiten analizar el comportamiento dinámico-secuencial del proceso, sin embargo, existen otros tipos de RP de acuerdo al proceso que se va a estudiar: RP temporizadas (RPT) cuando se consideran los tiempos en las actividades; estocásticas (RPE) cuando las actividades son probabilísticas, y coloreadas (RPC) cuando se asignan atributos a los recursos y comparten recursos, estas últimas fueron desarrolladas por K. Jensen y son consideradas como PN de alto nivel ya que utilizan instrucciones de lenguajes de programación, además que simplifican bastante la estructura de la red aumentando la velocidad y confiabilidad en la simulación. En este trabajo se diseño una Red de Petri Coloreada Temporizada (RPCT) debido a que existen recursos compartidos por los materiales además de tener en cuenta los tiempos en el proceso. Sin embargo, como pasos precedentes se diseño la RPT y la RPC del sistema las cuales son presentadas en esta investigación. Para el diseño y análisis de la redutilizó el software CPN Tools diseñado por la universidad de Aarhus [1,2,6].

Desarrollo

Como primer paso del presente trabajo se describe proceso de producción, este consiste en el maquinado de dos piezas de aluminio: cubo y pirámide, este consiste en el desbaste de uno de los lados del cubo en un torno y la perforación en uno de los lados de la pirámide en una fresadora. Una vez maquinadas las piezas son ensambladas mediante la colocación de la parte maquinada del cubo en el orificio de las pirámides siendo este ensamble el producto final del proceso. Posteriormente el ensamble debe ser inspeccionado a fin de garantizar su calidad, para finalmente ser enviado a un almacén para su posterior embarque. Ya que los SMFson automatizados su costo es generalmente muy elevado, esto hace que la simulación del proceso sea una actividad muy importante para la planeación y diseño de las instalaciones ya que ofrece una alternativa para el análisis del desempeño del SMF respecto al programa de producción permitiendo con ello establecer el tipo de robots y la capacidad y características de las estaciones de trabajo lo cual puede tener grandes beneficios económicos. Una vez establecidas las actividades realizadas en cada una de las estaciones de trabajo del sistema se debe determinar si van a ser representadas por medio de un lugar o una transición, se decidió que las actividades se representen por medio de lugares y la conclusión ó inicio de las mismas por medio de transiciones.

De acuerdo al producto final y al programa de producción del sistema, las instalaciones que deben constituirlo son las siguientes:

1) Un almacén de materia prima (cubos y pirámides).
2) Robot de almacén para manipulación de los materiales, el cual toma los materiales del almacén para colocarlos en la banda transportadora.
3) Banda transportadora para envío de los materiales a las estaciones de maquinado.
4) Torno (Estación A). En esta se maquinaran los cubos el cual consiste en realizar un desbaste en uno de sus lados.
5) Robot A para manipulación de cubos, el cual los tomara de la banda transportadora y los colocará dentro del torno para ser maquinados, una vez finalizada la actividad, tomará los cubos procesados y los colocará en la banda transportadora para ser enviados al siguiente proceso (Ensamble).
6) Fresadora (Estación B). En esta se maquinaran las pirámides el cual consiste en realizar un orificio en uno de sus lados.
7) Robot B para manipulación de pirámides, el cual las tomará de la banda transportadora y los colocará dentro de la fresadora para ser maquinados, al finalizar la actividad, tomará las pirámides procesadas y los colocará en la banda transportadora para ser enviados al siguiente proceso (Ensamble).
8) Ensamble. En esta estación se realizara el ensamble de los materiales procesados el cual se realiza al colocar el cubo maquinado en la estación para posteriormente colocar la pirámide maquinada sobre este, un pistón se activará empujando los materiales para finalizar el ensamble.
9) Robot C. Toma las piezas maquinadas de la banda transportadora y las coloca en la estación de ensamble de acuerdo a lo descrito anteriormente, posteriormente toma el ensamble para colocarlo en la estación de control de calidad (Inspección). Si el ensamble cumple el con los requerimientos de calidad, lo tomará para colocarlo en la banda transportadora para que sea enviado al almacén de producto terminado.
10) Inspección. En esta se realiza el control de calidad del ensamble por medio de una cámara de visión la cual comparará sus dimensiones y forma con un patrón previamente establecido, si el ensamble es rechazado, se activara un pistón para enviarlo a un contenedor de *scrap* (desperdicio). Si el ensamble cumple con los estándares de calidad el robot lo tomara y colocará en la banda transportadora como se mencionó anteriormente.
11) Almacén de producto terminado. En este se coloca el producto terminado para su posterior embarque o envío a un nuevo proceso como puede ser el empaque del mismo. Se debe contar con un robot para la toma del producto terminado y su colocación en el mismo.

Diseño de la Red de Petri (RP)

Como primer paso es necesario analizar completamente el proceso y determinar la duración de cada una de las actividades, [1] explican un procedimiento que consiste primeramente en clasificar los lugares de la siguiente forma:

Lugares A (P_A), son actividades que se ejecutan una sola vez en el mismo instante en una misma máquina.
Lugares B (P_B),. son recursos cuya cantidad es fija ó constante en el proceso como son: Robots, centros de maquinado.
Lugares C (P_C), son recursos cuya cantidad es variable en el proceso como son: materia prima, producto en proceso o terminado.

Posteriormente, analizar de lo particular a lo general (*Top - Down*), y posteriormente analizar de lo particular a lo general (*Bottom-Up*), el primero de ellos consiste en los siguientes pasos:

1) Diseñar un primer nivel de la PN que sea limitada, viva y reversible, determinar los lugares clasificándolos como P_A,P_B y P_C.
2) Descomponer el sistema en subsistemas que representen operaciones por medio de módulos, posteriormente detallar cada módulo hasta que las operaciones principales no puedan dividirse más.
3) Incluir recursos no compartidos en cada de lugares etapa del proceso cuando una o varias operaciones requieran el recurso.

El diseño Bottom-Up consiste en redefinir las operaciones de la PN del primer nivel, los pasos para implementarlo son los siguientes:

1) Incluir buffers o almacenes del proceso (en este trabajo no se utilizaron).
2) Incluir los recursos que son compartidos. En el SMF estos recursos son: Almacén de materia prima, banda transportadora, estación de ensamble, el robot de ensamble y el almacén de producto terminado.

Una vez establecidas actividades (Tabla 1) que se representan por medio de lugares se determinaron los eventos que indican el inicio o conclusión de las mismas las cuales se representaron por medio de transiciones (Tabla 2). Con lo anterior se definió la Red de Petri (RP) del SMF, la RP permite analizar características importantes del sistema como son la secuencia y sincronización de las actividades así como el cumplimiento de las características mencionadas en 1de igual forma el paralelismo y determinación de las exclusiones en los recursos del sistema. Para el diseño de la RP se utilizó el software *PM Editeur*, posteriormente, por medio del software *PN Toolbox*[1], el cual es un toolbox de Matlab se simuló la RP para garantizar el cumplimiento de las propiedades de limitación, vivacidad y reversibilidad.

En esta se ha llamado Robot A al Robot del el almacén, Robot 1 al del Torno, Robot 2 al de la fresadora (Centro de Maquinado) y Robot B al de la estación de Inspección. La duración de las actividades mostradas en la tabla 2 han sido propuestas pudiendo ser modificadas

Sin embargo la RP no permite determinar la eficiencia del SMF al no contar con información que permita determinar el ciclo de producción, tiempos de proceso en cada estación de trabajo, determinar los cuellos de botella, para ello es necesario asignarle los tiempos correspondientes a cada una proceso esto se conoce como Red de Petri Temporizada (RPT) del sistema. Los tiempos han sido propuestos. Por medio de simulación con el software *PN Toolbox* se analiza la eficiencia del sistema a partir de la obtención de datos estadísticos para establecer políticas de toma de decisión en el proceso encaminado al mejoramiento de su productividad. Lo anterior permite analizar los tiempos de producción debidos a cambio en el diseño del producto ó al material usado.

Tabla 1. Actividades del programa de producción del SMF.

IDENTIFICADOR	ACTIVIDAD	DURACIÓN (min.)
INICIO	Materiales disponibles en el almacén.	1
PA	Piezas A (cubos) disponibles en almacén.	1
PB	Piezas B (pirámides) disponibles en almacén.	1
RAA	Robot A toma cubo y lo envia a torno.	1
RAB	Robot A toma pirámide y lo envia a fresadora.	1
R1A	Robot 1 toma cubo y lo coloca en torno.	0.1
R2B	Robot 2 toma pirámide y lo coloca en fresadora.	0.1
TOR	Proceso de cubo en torno.	4
FRES	Proceso de prirámide en fresadora.	6
R1AF	Robot 1 toma cubo y lo envía a ensamble.	0.1
R2BF	Robor 2 toma pirámide y lo envía a ensamble.	0.1
R3A	Robot 3 toma el cubo y lo coloca en ensamble.	0.1
R3B	Robot 3 toma la pirámide y la coloca en ensamble.	0.1
ENS	Ensamble de piezas	0.1
R3ENS1	Robot 3 toma ensamble y lo coloca en inspección.	0.1
INS	Inspeción del ensamble.	0.5
R3ENS2	Robot 3 toma ensamble y lo envia a almacen de producto terminado.	0.1
PFINAL	Ensamble en almacén.	0.1

Diseño de la RPT

Las actividades se representan por medio de lugares y los eventos por medio de transiciones. Se ha elegido utilizar una RP P-timed.

El diseño de la RPT se realizó con el software *PetriNetToolsbox* [2,4] el cual es desarrollado en un ambiente de Matlab, este software permite, además del diseño, evaluar la vivacidad, alcanzabilidad y bloqueos de la RPT.

Estructura matemática de la RPT.

El comportamiento y estructura de las CPNT pueden ser analizados matemáticamente en [3] se muestra como el uso del álgebra lineal permite establecer la evolución dinámica de la red, los elementos de la CPNT son los siguientes:

Conjunto de lugares.

$$P = \{\ p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8\ \} \tag{3}$$

donde la asignación de cada uno de los lugares de la CPNT es la siguiente:

p_1: Almacen, p_2: Robot, p_3: Secuencia de producción, p_4: Maquinado, p_5:Inspección, p_6: A Ensamble, p_7: A producto terminado, p_8: Almacen de Producto Terminado.

El conjunto de transiciones .

$$T\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\}$$

y su asignación es la siguiente: t_1: Piezas tomadas por robot, t_2: Envio de piezas a centro de maquinado, t_3: Envio de Cubo a Inspección y envio de pirámide a ensamble, t_4: Envio a Ensamble, t_5: Envio de Producto final.

La matriz de Incidencias I es la diferencia de las matrices de entrada y salida y por medio de la ecuación 2 se obtiene la dinámica de la red.

Vector de marcas M: indica las marcas coloreadas y su cantidad en cada lugar.

$$M = \begin{bmatrix} 1\langle Cilindro\rangle + 1\langle \mathrm{Pr}isma\rangle \\ 0 \\ 1\langle Cilindro\rangle \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \\ p_7 \\ p_8 \end{matrix}$$

$$I = \begin{matrix} t_1 & t_2 & t_3 & t_4 & t_5 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \\ p_7 \\ p_8 \end{matrix}$$

Simulación

Como se mencionó anteriormente, la simulación se realizó con el software *Petri Net Toolbox*. Este software permite simular bajo dos criterios: tiempo de simulación y número de eventos. Se decidió simular 50 eventos

los resultados se muestran en la Tabla 2. Se pone en evidencia que la fresadora tiene un mayor tiempo y longitud en la línea de espera con valores de 6.2727 y 1.2148 respectivamente, de aquí se concluye que para reducir estos valores, se debe aumentar su velocidad de proceso teniendo como consecuencia un menor tiempo de proceso en cada ensamble aumentando con ello la productividad del proceso. Para determinar la relación existente entre los procesos de torno y fresado se realiza un diseño de parámetros con el *Petri Net Toolbox*, la relación entre estos dos parámetros se muestran en la Fig. 1.

Tabla 2. Resultados de la simulación para el SMFcon el PN-Toolbox.

Llegadas totales	Promedio de llegadas	Promedio de salidas	Tiempo de espera	Longitud de la cola
INICIO	10	0.19608	4.2364	0.17617
PA	10	0.19608	4.2364	0.17617
PB	10	0.19608	4.2364	0.17617
RAA	10	0.19608	4.2364	0.17617
RAB	10	0.19608	4.2364	0.17617
R1A	1	0.019608	0.042364	0.017617
R2B	1	0.019608	0.042364	0.017617
TOR	0.4	0.00784	0.01694	0.007046
FRES	0.6	0.01176	0.02541	0.01057
R1AF	1	0.019608	0.042364	0.017617
R2BF	1	0.019608	0.042364	0.017617
R3A	1	0.019608	0.042364	0.017617
R3B	1	0.019608	0.042364	0.017617
ENS	1	0.019608	0.042364	0.017617
R3ENS1	1	0.019608	0.042364	0.017617
INS	5	0.098	0.02118	0.008808
R3ENS2	1	0.019608	0.042364	0.017617
PFINAL	1	0.019608	0.042364	0.017617

Red de Petri coloreada

Las redes de Petri Coloreadas (CPN por sus siglas en inglés) fueron introducidas en la década de los 60´s por el Dr. Kurt Jensen, investigador danés de la Universidad de Arhaus. Estas han demostrado ser una herramienta muy factible para el modelado de SMF, además de representar la estructura dinámica estática del sistema permiten analizar gráfica y matemáticamente el proceso permiten modelar y representar la concurrencia, sincronización y como son compartidos algunos recursos del proceso siendo estas características de gran relevancia cuando se va a optimizar el rendimiento de los SMF. Las CPN son de alto nivel ya que se les asignan a las marcas de las RP atributos o características con la finalidad de diferenciarlos. Debido a que una de las características de los SMF es la capacidad de que estaciones de trabajo procesen diferentes tipos de materiales ó viceversa, o bien los tiempos de proceso sean distintos, el modelo para una RP ordinaria de estos sistemas serian de gran complejidad lo cual conlleva a un costo en lo referente a la capacidad y velocidad de la simulación por medio de software. La asignación de atributos a las entidades (materiales o recursos) permitirán una RP muy simple lo cual permite que su análisis y simulación sea muy eficiente con la correspondiente precisión en la evaluación del rendimiento del SMF, el resultado será una RP más simple de entender y controlar. Colorear una red implica “colorear” o diferenciar las marcas asignándole propiedades según el proceso. La CPN para el SMF se muestra en la Fig. 1. En la red que se ha planteado se dará color a dos atributos: el tipo de pieza y la máquina con la cual se va a procesar esta última.

Para el diseño de la RPC, se utilizó el software CPN Tools. La asignación de los colores se realiza por medio de las instrucciones:

colsetPieza=withCubo|Torno;

colset Maquina=withPiramide|Fresadora;

El significado de las instrucciones es que se ha asignado al color *Pieza* los cubosy piramides que son la materia prima del proceso; al color *Maquina* se le han asignado las variables *Torno* y *Fresadora* que son las máquinas donde van a procesarse las piezas.

También se han declarado los siguientes colores:

*colset Proceso=product Pieza*Maquina;*

colsetProductoFinal=with Proceso;

La primera instrucción declara el color *Proceso* por medio de la función *product Pieza*Maquina;* se une la pieza con la máquina en la cual se va a procesar, de este modo se obtienen los pares ordenados *(cubo, torno)* y *(piramide, fresadora)*.

De igual forma, las siguientes instrucciones definen las variables asociadas con los colores correspondientes que serán utilizadas en las expresiones de los arcos:

var P:pieza;

var M:maquina;
varEnsamble:ProductoFinal;

Simulación

CPN Tools permite simular la CPNT diseñada bajo dos parámetros: número de actividades y tiempo total de simulación. Los resultados pueden almacenarse en archivos *Log* para una interpretación adecuada del proceso. En la simulación se decidió realizar 50 actividades. Los resultados de las transiciones se muestran en la Tabla 3.

Como se mostró en la simulación con *PetriNetToolbox*, los procesos en torno y fresadora son los cuellos de botella, ya que el tiempo en que se llevan a cabo las actividades mencionadas son altos teniendo como consecuencia que las demás estaciones de trabajo permanezcan ociosas, esto se observa en la varianza mostrada en la Tabla 3.

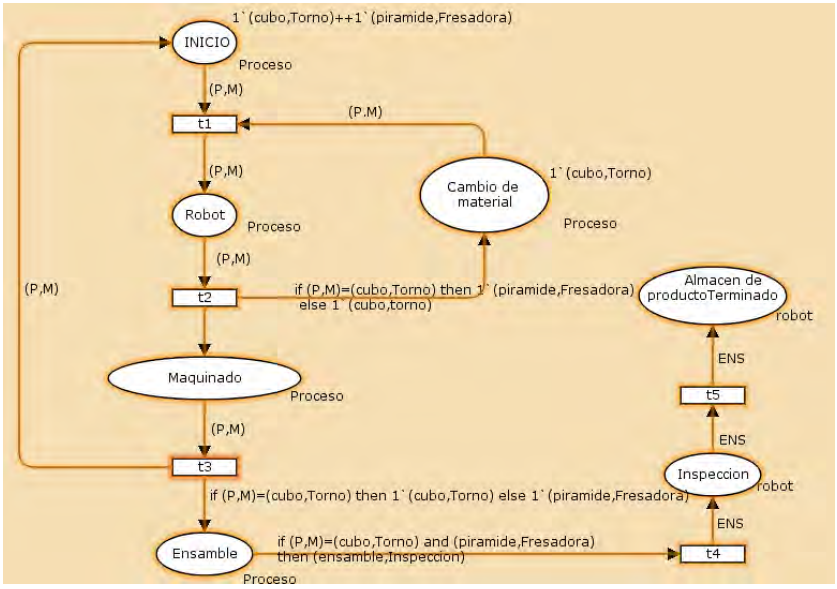


Figura 1. RPC para el SMF diseñada con el CPN.

Conclusiones

Las RPCT son una herramienta muy eficiente en el modelado y simulación de procesos industriales, permiten visualizar y obtener información relevante sobre la eficiencia de un proceso industrial, llevar a cabo las decisiones adecuadas buscando mejorar la productividad y realizar los cambios de proceso de forma rápida y confiable. La automatización y control del SMF se puede lograr a partir del diseño de la RPCT al implementar los diagramas escalera y GRAFCET a partir de su estructura.

Tabla 3 Resultados de la simulación con el CPN.

Untimed statistics						
Name	**Count**	**Avrg**	**Variance**	**StD**	**Min**	**Max**
Marking_size_New_Page'Almacen__Producto_Terminado_1	51	2.196078	2.320784	1.523412	0	4
Marking_size_New_Page'Maquinado_1	51	0.627451	0.358431	0.598691	0	2

Es posible llevar a cabo simulaciones de mantenimiento preventivo al implementar tiempos estocásticos de falla en el proceso.

Son de fácil implementación y análisis y se pueden utilizar como base para la implementación de otros softwares muy utilizados para simulación de procesos industriales como son el AREANA ó PROMODEL.

Referencias

[1] Zhou M., DiCesare F. *Petri Net Synthesis for Discrete Event Control of Manufacturing Systems.* Kluger Academic Publishers.
[2] http://www.daimi.au.dk/PetriNets/
[3] MURATA, T. *Petri Nets: Properties, Analysis and Applications*. Proceedings of the IEEE.Vol. 77, No. 4. 1989.
[4] http://www.ac.tuiasi.ro/pntool/
[5] Jensen, K. and L. M. Kristensen, *Coloured Petri Nets. Modelling and Validation of Concurrent Systems*.Springer-Verlag. Companion web site: www.daimi.au.dk/CPnets/cpnbook.[6] CPN Tools. www.daimi.au.dk/CPNTools

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 78. Volumen 4(1), 6 páginas

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS DE CONTACTO MECÁNICO

Rita Aguilar Osorio[1], César Adolfo Ortega Vivas[2], Gerardo López Ramírez [3]

Resumen

En este trabajo se presentan los principales métodos utilizados en el estudio de esfuerzos y deformaciones generados por contacto entre dos cuerpos elásticos. El método fotoelástico es el método más utilizado para analizar los esfuerzos experimentalmente en componentes en contacto mecánico. Los métodos para las soluciones analíticas de las formulaciones en contacto mecánico se basan en modelos ideales y cargas pequeñas. Los principales métodos numéricos para analizar los problemas de contacto mecánico son el método del elemento finito y el método del elemento frontera. Con estos, se pueden analizar geometrías complejas y utilizar cargas más elevadas. Los métodos analíticos tienen severas limitaciones debido a que sus soluciones son complejas, se basan en modelos ideales y no se consideran cambios de geometrías, discontinuidades, etc. Los métodos experimentales son muy costosos. Mientras que, los métodos numéricos son más poderosos, más económicos, se obtienen resultados con mayor rapidez, se pueden variar los parámetros de operación con mayor facilidad que los experimentales y pueden aplicarse a problemas prácticos de ingeniería.

Palabras clave: Métodos en contacto mecánico, contacto mecánico, esfuerzos y deformación en contacto mecánico.

Abstract

This paper presents the main experimental, analytical and numerical methods for solving contact problems. The method more commonly applied to study experimental contact problem is by photoelasticity. The analytical methods can be applied to the problems which have fairly simple geometry, they have limited use in the analysis of practical contact problems. However, the numerical methods can be used to practical problems which are not possible to solve using analytical o experimental methods. The main numerical methods used for contact problems are finite elements and boundary elements. The contact analysis is performed by controlling the increment of stresses and displacement on the element. The numerical methods are very powerful tool in industry for solving contact problems over complicated domains, when the domains change, and the operating conditions can be change easier than experimental methods.

Keywords: Methods in Mechanical Contact, Mechanical Contact, Stress and Strain in Mechanical Contact.

Introducción

Las exigencias actuales, cada vez más estrictas en el diseño mecánico, requieren del análisis de parámetros que anteriormente no se consideraban. Entre los parámetros más importantes se pueden considerar los esfuerzos y las deformaciones generadas entre las superficies de los cuerpos o componentes en contacto mecánico. Existe contacto entre dos cuerpos cuando éstos se tocan físicamente en un área determinada. El estudio de problemas de contacto mecánico entre cuerpos deformables, es un tema actual en mecánica de sólidos, con importantes aplicaciones en el diseño mecánico.

[1] Sección de Estudios de Posgrado de Investigación. ESIME-Zacatenco. Instituto Politécnico Nacional. Edificio 5, 3er. Piso. Col. Lindavista, C.P. 07738, México, D. F. Tel: (55) 5729-6000, exts. 54819 / 54586. E-mail: raguilaro@ipn.mx

[2] Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Campus Querétaro. Epigmenio González No. 500 Fracc. San Pablo, Apartado Postal 37. C. P. 76130. Santiago de Querétaro, Querétaro(442) 238.31 00. E-mail: kov70@yahoo.com

[3] Sección de Estudios de Posgrado de Investigación, ESIME-Ticomán. Instituto Politécnico Nacional. México, D. F. Tel: (55) 5729-6000, exts. 56105. E-mail: gelopez@ipn.mx

En la mayoría de los casos, los esfuerzos producidos por el contacto afectan el comportamiento general de los componentes. Como consecuencia de este contacto, se genera desgaste y por lo tanto, la aparición de grietas. Por esta razón, se deben considerar los esfuerzos y las deformaciones de los materiales en el diseño de componentes mecánicos en contacto.

El problema de contacto se presenta frecuentemente en muchos sistemas mecánicos, tales con en levas, engranes, ensambles de flechas y cojinetes, motores de combustión interna, embragues, en las interfaces de las rieles del tren, etc. Existen otros tipos especiales de contacto en los procesos de manufactura tales como forja, rolado, extrusión, estiramiento, proceso de fundición a presión; los ajustes de los ensambles de tuberías y recipientes a presión, en barrenado, en sellado mecánicos; así como también en articulaciones y ligamentos del cuerpo humano.

El contacto inicial se determina por las características geométricas de los cuerpos y las condiciones de apoyo. El área de contacto final es determinada por el grado de deformación de los cuerpos, debido a las cargas o fuerzas ejercidas sobre éstos y por las propiedades elasto-plásticas del material. Las superficies entre dos cuerpos en contacto pueden ser con fricción o sin fricción.

Los primeros estudios sobre contacto entre cuerpos deformables fueron realizados por Lamé y Clapeyron en 1831, aplicando la teoría de la elasticidad. La teoría general del contacto mecánico entre dos cuerpos deformables fue formulada por Heinrich Hertz en 1882[1]. Para esta formulación Hertz consideró superficies planas en contacto usando espacios medios semi-infinitos. Esta teoría es válida para contactos pequeños en comparación con las dimensiones de los componentes y cuando la fricción se considera despreciable.

En 1980 Gladwell [2] analizó problemas de contacto mecánico con base en la teoría clásica de elasticidad, recopilando métodos y procedimientos anteriores. En esta publicación no se incluyen temas sobre contactos de rodamientos, los cuales son muy importantes, y los análisis son restringidos solamente a sólidos perfectamente elásticos. Johnson [1] en su publicación incluye problemas Hertianos y no Hertzinos, así como también, contacto en rodamientos y en cuerpos con comportamientos elástico y plástico.

Una de las más significativas contribuciones para la solución de problemas de contacto fue realizada por Conry y Seireg [3]. Ellos resolvieron problemas en superficies con geometrías más complejas que los analizados por Hertz. Así mismo, Kalker [3] aplicó el método de Conry y Seireg a cuerpos homogéneos en contacto con geometrías complejas nunca antes consideradas. En 1980, Anderson y colaboradores publicaron la primera formulación de contacto en cuerpos elásticos utilizando ecuaciones integrales singulares, considerando cargas constantes y sin fricción. En 1981 Anderson [4] amplía su investigación a superficies en contacto con fricción. Se puede considerar que esta publicación sienta las bases fundamentales, para el análisis matemático de problemas de contacto, utilizando los métodos del elemento finito y elemento frontera.

El propósito del presente trabajo, es presentar las ventajas y desventajas, así como también el estado del arte de los métodos analíticos, experimentales y numéricos que se aplican en el análisis de problemas de contacto mecánico.

Tipos de contacto en cuerpos elásticos

La clasificación del contacto de cuerpos elásticos [1,2,3] está en función del contacto inicial y la deformación final que se obtiene después de aplicar una carga sobre los ementos en contacto. El contacto inicial puede ser sobre un punto, una línea, una superficie o una combinación de ellas, y es la interfase entre dos elementos cuando éstos están o no sometidos a la acción de una fuerza y se determina por las características geométricas del cuerpo y las condiciones de apoyo. Por otro lado, el contacto final depende de la naturaleza de las fuerzas aplicadas y de las propiedades de los materiales. Los problemas de contacto con fricción o sin fricción, pueden clasificarse como:

- Contacto avanzado
- Contacto conformado
- Contacto recesivo por carga

En el contacto avanzado, la zona de contacto inicial es menor que la zona de contacto final. Este tipo de contacto está en función de la fuerza que hace que los cuerpos se mantengan juntos, por lo tanto, cuando se incrementa la carga, aumenta el área de contacto, como resultado de la deformación que experimentan los materiales de los cuerpos en contacto. En el contacto conformado, existe inicialmente una interfase de las dos superficies en contacto sin deformación de ninguna de ellas, y la región de esta interfase de contacto, solo cambia hasta que se aplica una carga.

En el contacto recesivo existe inicialmente una región de contacto debida a una carga inicial, cuando se aplica cualquier otra carga adicional sobre el elemento se obtiene un efecto de disminución de la dimensión de la región de contacto.

Los problemas de contacto en cuerpos elásticos son considerados como Hertzianos si satisfacen las siguientes condiciones: los cuerpos son homogéneos, isotrópicos y satisfacen la Ley de Hooke. Estos se contactos se consideran que son sin fricción y las dimensiones de las deformaciones debidas al contacto son pequeñas. El análisis de esfuerzos en la zona de contacto se realiza aplicando la teoría de elasticidad lineal.

Los análisis de contacto mecánico que incluyen la fricción son considerados como no Hertzianos. Para determinar los esfuerzos en componentes en contacto mecánico existen los métodos analíticos, experimentales y numéricos.

Métodos experimentales

El método experimental más utilizado en el análisis de esfuerzos en cuerpos en contacto ha sido el de fotoeslasticidad [5-8]. Esta técnica se lleva a cabo usando un polariscopio, para analizar el comportamiento cuasi-cristalino de materiales transparentes sometidos a una determinada carga. Estos materiales pueden ser resinas, epóxicos o poliéster, con los cuales se modelan el comportamiento de los materiales reales.

A través de estos materiales se polariza un haz de luz y el efecto óptico del polariscopio permite obtener una imagen de los elementos modelados en la cual se observan franjas continuas de color, que corresponden al campo completo de esfuerzos que se presentan en los elementos modelados.

Se observa una mayor cantidad de franjas en zonas con mayor concentración de esfuerzos. Los factores que influyen en la concentración de esfuerzos son las cargas concentradas y los cambios de geometría. Una de las principales desventaja de los métodos experimentales es su alto costo, debido a que cuando se requiere cambiar variables o parámetros se debe realizar nuevamente el proceso, esto implica tiempo y costo.

Métodos analíticos

Los métodos analíticos generalmente son desarrollados para modelos ideales y sobre problemas específicos, los cuales se pueden utilizar para aplicaciones muy limitadas, en las cuales se deben satisfacer las siguientes condiciones: los cuerpos deben ser homogéneos e isotrópicos, deben obedecer la ley de Hooke; las superficies en contacto se consideran sin fricción, las deformaciones deben ser pequeñas, el contacto en las superficies es continuo, y éstas se consideran planas.

Para la solución de los métodos analíticos, se considera que el comportamiento de las interfases en contacto se representa por las ecuaciones diferenciales de segundo orden, del tipo funciones de potencial de Boussinesq y Cerruti [1-3]. Estas funciones de potencial se representan por polinomiales de segundo orden o mayor. Con base en estos polinomiales y aplicando la teoría de elasticidad para espacios medios se pueden obtener las deformaciones que se presentan por las cargas en contacto entre componentes mecánicos. Las soluciones analíticas desarrolladas para contacto mecánico han sido recopiladas por Jonhson [1], Gladwell [2] y Kalker [3].

Un primer análisis para determinar el esfuerzo entre dos cuerpos en contacto fue realizado por Lame y Clapeyron en 1831. La teoría general de contacto en cuerpos elásticos fue formulada por Hertz en 1881. Hertz formuló y resolvió problemas de contacto entre dos cuerpos elásticos considerando que los cuerpos debían ser lo suficientemente planos en el área de contacto, utilizando la teoría potencial para espacios medios semi-infinitos. Este fue, realmente, el punto inicial para el estudio del contacto mecánico. A partir de aquí los problemas de contacto mecánico fueron clasificados como Hertzianos.

En 1949, Mindlin estudió problemas de contacto estático en cuerpos simétricos sin fricción y con una distribución uniforme de carga entre dos superficies. Más tarde, Mindlin y Deresiewicz investigaron la distribución de cargas tangenciales en el área de contacto, cuando un cuerpo se desliza sobre otro. Ellos analizaron varias combinaciones de esfuerzos tangenciales y normales en contactos elasto-estáticos.

La aplicación del análisis variacional en contacto mecánico fue iniciada por Signorini en 1959. Esta teoría fue aplicada para determinar las condiciones de contacto con y sin fricción. Kalker [3] analizó teóricamente los problemas de contacto lineal y en contacto de rodamiento.

Todas las soluciones analíticas en problemas de contacto se basan en modelos y configuraciones ideales, es decir, en problemas con geometrías sencillas y cargas pequeñas, por lo cual estas soluciones, por métodos analíticos, son limitadas en los problemas práctico de ingeniería.

Métodos numéricos

Debido a las limitantes de los métodos analíticos y experimentales mencionadas anteriormente, el uso de los métodos numéricos se ha incrementado en los últimos años. Las técnicas numéricas aplicadas en problemas de contacto tienen una mayor resolución de las formulaciones para analizar los esfuerzos y las deformaciones en las superficies en contacto. La formulación matemática es igual a la descrita para el método analítico, la diferencia radica en la forma de solucionar las ecuaciones. Para la simulación numérica, los modelos se

dividen en un determinado número de segmentos llamados elementos, esto se conoce como discretización del elemento continuo.

La solución del sistema de ecuaciones de segundo orden que describe el comportamiento de las superficies en contacto se obtiene para cada uno de los elementos modelados que forman el continuo, esto es, en el caso de las superficies en contacto se obtienen las deformaciones que se presentan para cada uno de los elementos que forman el modelo completo.

Este proceso de solución implica aproximaciones iterativas numéricas que pueden ser aplicadas a muchos problemas prácticos de ingeniería. La aplicación de los métodos numéricos ha alcanzado gran popularidad, en el ámbito industrial, debido a la posibilidad actual de utilizar sistemas de cómputo de alta capacidad. Los métodos numéricos más aplicados en el análisis de contacto mecánico son el método del elemento finito (MEF) y el método del elemento frontera (BEM, por las siglas en inglés). En el MEF la superficie y el interior del modelo se tienen que dividir o discretizar en elementos. Mientras que en el análisis con el BEM solamente se discretiza la superficie del elmento, por lo cual se tiene un ahorro en el tiempo de cómputo.

Método del elemento finito

El MEF [7, 8, 9, 10] fue desarrollado inicialmente en 1956 para el análisis de problemas en la aviación, desde entonces, este método ha sido utilizado ampliamente como una herramienta en problemas de mecánica de sólidos y en el análisis estructural.

Muchos investigadores se han interesado en desarrollar nuevas formulaciones eficientes para el análisis de contacto mecánico. Los métodos más utilizados del MEF son:

- Matrices de flexibilidad
- Elementos con separación (gap elements)
- Multiplicadores de Lagrange

Matrices de flexibilidad

Con las matrices de flexibilidad se calculan los coeficientes de contacto por presión, en los puntos en que es posible el contacto entre dos cuerpos. Francavilla y Zienkiewisz [11] propusieron una técnica de matrices de flexibilidad, la cual convierte un problema de contacto por presión no-lineal, en uno cuasi-lineal. Sachveda, Ramakrishnan y otros [12] ampliaron este método de Francavilla para analizar los casos relacionados con condiciones en la frontera. Sachveda y Ramakrishnan [13] consideran la fricción entre los dos cuerpos. La ventaja que ofrece este método es que se necesitan relativamente pocas iteraciones para que el programa converja.

Elementos de separación

Las ventajas que ofrece la aplicación de elementos con separación son: que el ensamble total del proceso de rigidez no cambia, el elemento con separación permite analizar tanto superficies en contacto y sin contacto, así como también los fenómenos de plasticidad y las grietas.

Stadter y Weiss [14] iniciaron el uso de elementos rectangulares, las propiedades de los materiales y el principio de invarianza de esfuerzos para describir el proceso de contacto sin fricción. El contacto se determina por la cantidad de deformación de los elementos separados. La solución se realiza por medio de un proceso iterativo.

Mazurkiewicz y Ostachowicz [15] desarrollaron un método con elementos separados tipo resorte, para analizar el contacto entre dos elementos. Los dos elementos tienen orientaciones diferentes una tangencial y una normal

Zolty [16] propuso un procedimiento, el cual se basó en el incremento de cargas. Los dos cuerpos, en contacto tienen diferentes módulos de Young, uno en la dirección tangencial y otro en la dirección normal. Las condiciones de fricción fueron simuladas cambiando los valores del módulo de Young en la dirección tangencial. Para contactos sin fricción los módulos de Young en las direcciones tangenciales y normales fueron consideran iguales.

Multiplicadores de Lagrange

Los multiplicadores de Lagrange han sido utilizados en las superficies en contacto con movimiento relativo, para evaluar la distribución de la presión debido a la fricción.

En los últimos años, muchos ingenieros e investigadores han publicado algunos trabajos sobre contacto mecánico, utilizando el MEF. Hung and Saxce [17] desarrolló un método para analizar el problema de contacto entre dos cuerpos sin fricción. Los cuerpos fueron discretizados en elementos finitos y se utilizó un

procedimiento especial de linealización en el algoritmo para la programación de la ecuación cuadrática. Dunavant [18] desarrolló una nueva cuadratura requerida para el cálculo de matrices, la cual se basó en la formulación isoparamétrica del método del elemento finito, utilizada en los estudios de contacto mecánico.

Método del elemento frontera

En años recientes, el método de elemento frontera, BEM, ha sido utilizado en la industria. El origen del método de elementos de frontera se remonta al siglo diecinueve desarrollado por Betti, Somigliana [2]. En 1967, Rizzo [19] desarrolló la formulación en las fronteras basada en la identidad Somigliana para resolver problemas de contacto. Las ecuaciones integrales fueron utilizadas para resolver problemas elastostáticos con valores en la frontera.

El método del elemento frontera consiste básicamente en la transformación de las ecuaciones diferenciales que gobiernan el comportamiento elástico, en ecuaciones integrales, estableciendo una aproximación de las variables de la frontera.

La ecuación básica del BEM es la conocida indentidad de Somigliana [1-3], la cual expresa el vector de desplazamiento $u_i(Q)$ en un punto Q de un dominio Ω como una función de los desplazamientos $u_i(P)$ y las tensiones $t_i(P)$ en los puntos del contorno del dominio así como de las fuerzas por unidad de volumen X_i. Ésta se expresa por:

$$C_{ik}(Q) = \int_{\partial\Omega} U_{ik}(Q,P) t_i(P) d\partial\Omega - \int_{\partial\Omega} T_{ik}(Q,P) u_i(P) d\partial\Omega + \int_{\Omega} U_{ik}(Q,P) X_i(P) d\Omega \qquad (1)$$

Siendo U_{ik} : la solución fundamental de la Ecuación de Navier, T_{ik} son las tensiones correspondientes a la solución fundamental. Bajo determinadas condiciones, la integral del dominio, ecuación (1), puede expresarse como la suma de dos integrales de frontera, con lo que es posible conocer los desplazamientos de cualquier punto del dominio en función únicamente de integrales de frontera.

En 1972, Keer y Dundurs [22] analizaron un problema de contacto recesivo entre dos cuerpos sometidos a presión. En este estudio ellos desarrollaron una expresión de los campos elásticos, aplicando las integrales de Fourier o Fourier-Hankel y las integrales de Fredholm, las cuales están directamente relacionadas con la presión ejercida entre las superficies de dos cuerpos.

Anderson [23] publicó una técnica para resolver problemas de contacto mecánico en dos dimensiones, utilizando el BEM. En este trabajo se obtiene la presión y la distribución de esfuerzos en dos cuerpos elásticos con fricción y sin fricción.

Caso de estudio

Como un caso de estudio en la aplicación del BEM en el análisis de contacto mecánico se expone el siguiente trabajo: El escurrimiento de material fundido es uno de los problemas en los procesos de fundición, el cual se debe a la deformación de los moldes causados por las altas temperaturas, a la expansión térmica y la presión durante este proceso.

R. Aguilar Osorio [24] en su trabajo predice la deformación ocurrida en los moldes utilizados durante el proceso de fundición a presión, considerando el contacto sin fricción, entre las superficies de éstos. El método seleccionado para resolver las ecuaciones que gobiernan el fenómeno de esfuerzos y deformación fue el método del elemento frontera. Las superficies de los moldes eran planas, sin embargo, durante el proceso estas no permanecían planas, debido a la deformación de las superficies generada por las cargas y la temperatura, esta deformación permitía escurrimiento del metal sobre la pieza que se estaba fabricando.

En trabajos anteriores se consideró cada molde de forma individual, por lo tanto, no fue posible predecir con precisión la deformación de los moldes en contacto durante el proceso de fundición a presión. El resultado, de este presente trabajo, sirvió para redimensionar las superficies de los moldes, con lo cual se resolvió el problema de escurrimiento sobre las piezas fabricadas.

Conclusiones

En este trabajo, se han presentado los métodos para resolver los problemas de contacto mecánico. Debido a las limitantes de los métodos analíticos y experimentales, el uso de los métodos numéricos, se ha convertido en una poderosa herramienta para el modelado y simulación de elementos mecánicos en contacto de formas complejas y sujetos a cargas combinadas. Además, estos tienen una mayor resolución que las técnicas analíticas. Las soluciones obtenidas por métodos numéricos, son aproximadas. Sin embargo, se pueden obtener resultados más exactos refinando los elementos del modelo. Las variables se pueden variar con

mayor facilidad y los resultados se pueden obtener con mayor rapidez que los experimentales, esto hace que la solución de los problemas en contacto mecánicos sea más económica. El caso de estudio presentado muestra que el método de elemento frontera es una herramienta poderosa para resolver problemas de contacto mecánico.

Reconocimientos

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional el apoyo recibido para llevar a cabo este trabajo.

Referencias

[1] Johnson, K. L. Contact Mechanics. 1992. Cambridge University Press.
[2] Gladwell, G.M.L. Contact Problems in the Classical Theory of Elasticity. 1980.Sijihoff & Noordhoff.
[3] Kalker J. J.. Aspects of contact mechanics. The mechanics of the contact between deformables bodies. 1975. Delft University Press. Belgium.
[4] Anderson T. Boundary Element Integration Technique. A survey on Recent Developments. 1981. Linkoping University Institute of Technology, Sweden.
[5] Heywood R.B. Photoelasticity for designers. 1986.Pergamon Press, Oxford.
[6] Mendoza M.. Measurement of Contact Forces in Photoelasticity Models. 1975. Conf. in Solid Mechanics.
[7] Frocht M.M. Photoelasticity. 1941.Volumen I. John Wiley & Sons.
[8] Dally J.W. Experimental Stress Analysis. 1965. Mcgraw-Hill.
[9] Zienkiewice O.C.. The finite Element Method. 1977. McGraw-Hill.
[10] Zienkiewice O.C.y Morgan K. Finite Elements and Approximations. 1983. John Wiley & Sons.
[11] Hughes T.J.R. The Finite Element Method Linear Static and Dynamic Finite Elements Analysis. 1987. John Wiley & Sons.
[12] Rao S.S. The Finite Elements Method for Engineering. Pergamon Press, Oxford. 1982.
[13] Francavilla A. y Zienkiewice O.C. A Note on Numerical Computational of Elastic contact Problems. Int. J. Num. Meth. Eng. Vol. 9. pp. 913-924. 1975.
[14] Sachdeva T.D. y Ramakrishnan C.V. A Finite Element Method for the Elastic Contact Problems. Transaction of ASME. J. Eng. Industry. vol. 103. pp. 456-461. 1981.
[15] Sachdeva T.D. y Ramakrishnan C.V. A Finite Element Solution for Two-Dimensional Elastic Contact Problems with Friction. Int. J.Num. Meth. Eng. Vol. 17, pp. 1257-1271. 1981.
[16] Stater J.T. y Weiss R. O. Analysis of Contac Through Finite element Gaps. Computers and Structures. Vol. 10, pp. 867-873. 1979.
[17] Mazurkiewicz M. y Ostachowicz W. Theory of Finite Element Method for Elastic Contact Problem of Solid Bodies. Computers and Structures. Vol. 17, pp. 51-59. 1983.
[18] Zolti E.. A finite Element Procedure to Time Dependent Contact Analysis. Computers and Structures. Vol. 17, pp. 555-561. 1983.
[19] Hung N.D. y Saxce G. Frictionless Contact of Elastic Bodies by Finite Element Method and Mathematical Programming Technique. Computer and Structures. Vol. 11, pp.55-67. 1980.
[20] Dunavant D.A. High Degree Efficient Symmetrical Gaussian Quadrature Rules for the Triangule. International Journal of Numerical Methods in Engineering. 1985.
[21] Rizzo F.J. An Integral Equation Approach Boundary Values Problems of Classical Elastostatics. Quaterly of Applied Mathematics. Vol. 2 pp. 83-95, 1968.
[22] Keer L.M. y Dundurs P. Problems Involving a Receding Contact Between Layer And Half Space. Journal of Applied Mathematics. 1972.
[23] Anderson T. New Developments in Boundary Element Methods. ML. Publicactions, U.K. 1980.
[24] Aguilar Osorio R. Proyecto: Modellinging Flash Pressure Die Casting Using the Bounday Element Method. UMIST (The University of Manchester Institute of Science and thechnology), England 1997.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 80. Volumen 4(1), 6 páginas.

CARACTERIZACION DE UN ESLABON DE ARRASTRE DE CAMION FABRICADO AL VACIADO POR GRAVEDAD

Martín D. Castillo Sánchez[1], Jesús García Lira[2], Salvador Rodríguez Ayala[2], César Víctor Feria Reyes[2]

Resumen

El objetivo del presente trabajo de investigación, es fabricar un ojillo de tracción utilizado en los tractocamiones para arrastrar la caja de carga, que tradicionalmente se fabrica por el proceso de forja, mediante el proceso de fundición, y posteriormente aplicarle temple y revenido y un tratamiento termoquímico de nitrurado. Se utilizo un acero AISI-SAE 4340, para el proceso de fundición, después de obtenida la pieza por vaciado, se mido su dureza, posteriormente se trato térmicamente (temple), se obtuvieron muestras de este acero al mismo tiempo para realizar pruebas de tensión, sin temple y con temple, posteriormente se aplico el tratamiento termoquímico de nitrurado. La nitruración se hizo en fase gaseosa, se realizó en un baño de sales en una atmósfera de amoniaco, durante un tiempo de 30 horas, se obtuvo un espesor de capa nitrurada de 0.35 mm, se analizo la superficie mediante microscopia óptica y electrónica, encontrándose nitruros de hierro, se alcanzaron durezas superficiales extremadamente altas y con un mínimo de deformaciones, debido a la baja temperatura de la nitruración, se observo que la profundidad de la capa difundida esta en función del tiempo de exposición del acero en la atmósfera de amoniaco.
Palabras clave: Dureza, nitrurado, templado, tensión, tratamiento termoquímico.

Abstract

The aim of this work, is to manufacture by casting graveness process, a truck tractor drag link, this piece traditionally is manufactured by the forge process, and apply tempers, annealed and a termochemical nitrated treatment later, AISI-SAE 4340 steel was used, for the casting process, after having obtained the piece by casting, the hardness was measured, later on was tempers, samples of this steel unhardened and with temper were obtained at the same time to carry out tensile tests, later on was applied the thermochemical nitrated treatment. The nitrated became in phase soda, it was carried out in a salts bathroom in an ammonia atmosphere, during 30 hours, a thickness of nitrated layer obtained was 0.35 mm, the surface was analyzed by optic and electronic microscopy, the hardness of iron nitrides were extremely high with a minimum deformations, due to the drop nitrated temperature, was observed that the depth of the diffused layer is function the exhibition time of the steel in the ammonia atmosphere.
Keywords: Hardness, nitriding, tempered, tensile tests, termochemical treatment.

Introducción

Los aceros de aleación especiales son los que contienen Cromo y Níquel superior al 12%. Estos aceros de gran dureza y alta resistencia a altas temperaturas y a la corrosión, se emplean en turbinas de vapor, ejes y rodamientos principalmente. El acero seleccionado para la fabricación de este ojillo de remolque es un acero designado por la norma AISI-SAE 4340[1]. Este acero tiene una alta tenacidad, gran templabilidad y resistencia a la fatiga por su alto contenido de níquel, alta resistencia a la tensión, torsión**,** desgaste, impacto, no presenta fragilidad de revenido y posee buena maquinabilidad con dureza relativamente alta (400 HB).
Este acero en particular por sus propiedades, se usa en la industria de la aeronáutica para partes estructurales del ensamble de las alas, fuselaje y tren de aterrizaje, ejes para hélices de aviones.

[1] IPN – ESIME – SEPI. Zacatenco. Av. IPN s/n. Colonia Lindavista, UPALM. Edificio5, Tercer piso. México. D. F. E-mail: *avinfer@hotmail.com*
[2] IPN – ESIME – SEPI. Azcapotzalco. Av. de las Granjas No. 682, Col. Sta. Catarina Azcapotzalco, C.P. 02550, México,D.F., México. E-mail: jgarcialira@gmail.com.

Partes de maquinaria y repuestos de mayores dimensiones sometidos a altos esfuerzos dinámicos como pernos y tuercas de alta tensión, cigüeñales, ejes de leva, árboles de transmisión, barras de torsión, vástagos, etc.

Es importante tener en cuenta que el óptimo diseño de una pieza, no es sinónimo de un excelente desempeño de la misma, sino que también entran en juego la selección adecuada del acero y la microestructura obtenida, la cual nos dará una tiempo de vida útil elevado. En este trabajo se compara la estructura, tamaño de grano, dureza y la resistencia a la tensión, del material original obtenido por fundición con respecto al material tratado térmicamente. El acero vaciado 4340 utilizado para la fabricación de la pieza (ojillo), sus propiedades mecánicas son las siguientes: resistencia a la tensión: 125-250 ksi (861-1723 MPa) y su límite de fluencia: 95-200 ksi (655-1378 MPa). Las piezas son diseñadas bajo las especificaciones de la norma ASTM-A148 (220-180L) (MIL-S-46052/220-180), que se refiere a la fabricación de piezas de acero fabricadas por el proceso de vaciado por gravedad. Estas piezas son sometidas a esfuerzos excesivos debido al trabajo que desarrollan, este tipo de pieza se utiliza para el remolque de carga en tractocamiones originalmente se obtiene por el proceso de forja, pero para disminuir costos en la fabricación de la pieza, para esta investigación se fabricó por vaciado.

Procedimiento experimental

El material utilizado para la elaboración del ojillo de arrastre para remolque de carga, es un acero aleado AISI-SAE 4340, fabricado mediante un proceso de vaciado por gravedad (fundición). La tabla 1 muestra la composición química del acero en función de su porcentaje en peso.

Tabla 1. Composición Química del acero 4340 (% en peso).

C	Ni	Mn	Cr	Mo	Pmáx	Smáx	Si
0.38 - 0.43	1.65 - 2.00	0.60 - 0.80	0.70 - 0.90	0.20 - 0.30	0.035	0.040	0.15 - 0.35

La Fig. 1, muestra la pieza obtenida por vaciado. El acero vaciado presenta una microestructura dendrítica y un tamaño de grano ASTM 3-4, como se observa en la Fig. 2.

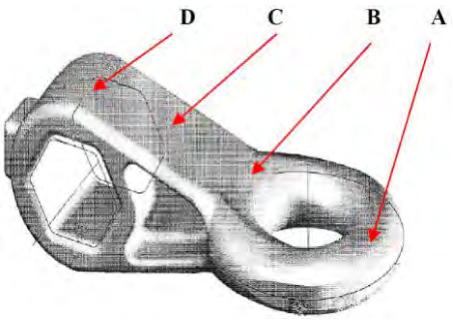


Fig. 1. Pieza vaciada por gravedad (Fundición)

Fig. 2. Microestructura dendrítica. Ataque con Nital 2%.

Dureza

Antes de aplicar los tratamientos térmicos, al acero original vaciado, se le realizó una prueba de dureza, obteniéndose 16Rc en promedio, el ensayo se realizó en un durómetro marca King Tester, con una carga de 150 kg. y un penetrador de diamante.

Ensayo de tensión

Se maquinaron 4 probetas de 2 coladas distintas, las probetas para realizar el ensayo de tensión se fabricaron siguiendo la norma ASTM A-370, para poder determinar la resistencia del material. Posteriormente se llevaron hasta una temperatura de austenización (temple) a 830°C, con un tiempo de empape de 4 horas en solución hidrosoluble (Aqua Quench), seguido de un revenido a 560°C. Las pruebas de tensión se realizaron en una maquina universal convencional de 60 toneladas.

Tratamientos térmicos

El primer tratamiento que se realizo a las piezas vaciadas del acero 4340, fue de temple y revenido, la Tabla 2 muestra las condiciones en que se realizo el tratamiento [3], [7], para que posteriormente se pasaran al tratamiento termoquímico de nitruración:

Tabla 2. Condiciones de tratamientos térmicos

Cantidad de piezas	Temp. de austenización	Tiempo de permanencia	Medio enfriante	Temp. de revenido	Tiempo de permanencia	Medio enfriante
15	830ºC	4 horas	hidrosoluble (agua)	560ºC	3 horas	aire

Nitruración

La nitruración gaseosa, se realizó en un baño de sales en una atmósfera de amoniaco, durante un tiempo de 30 horas y los nitruros obtenidos en el acero son denominados *nitruros de hierro*, alcanzándose durezas superficiales extremadamente altas y con un mínimo de deformaciones, debido a la baja temperatura de la nitruración, la profundidad de la capa difundida esta en función del tiempo de exposición del acero en la atmósfera de amoniaco. La Tabla 3, muestra las condiciones del nitrurado [8, 9].

Dureza

Los resultados de las durezas obtenidas después de la nitruración, y de un muestreo realizado en la sección "A" en diez piezas, según se muestra en la Figura 1. Se presentan en la Tabla 4. Después de realizar el temple y revenido se obtuvieron las durezas mostradas en la Tabla 5, la sección A se tomó en cuenta por ser la zona de la pieza más expuesta a las condiciones extremas de trabajo.

Resultados

Ensayo de tensión

Los resultados del ensayo de tensión del material son mostrados en la Tabla 6.

Microestructura

Las microestructuras encontradas después de realizar el tratamiento termoquímico (nitrurado), se muestran en las Figs. 3 y 4.

Análisis de resultados

La Tabla 7, muestra la comparación de resultados de las durezas obtenidas, posteriores al proceso de temple-revenido y nitrurado. Se realizo un muestreo de 10 piezas, por ensayo de dureza superficial, en la sección "A". Las durezas obtenidas después de los tratamientos realizados de acuerdo a la Fig. 1, donde se muestra la variación de la dureza, la podemos observar en la Figura 5. Se puede apreciar una variación de dureza 35Rc con respecto a un muestreo obtenido en 10 ensayos de dureza superficial en cada sección identificada.

Tabla 3. Condiciones de nitruración.

Cantidad de piezas	Temperatura	Tiempo de nitrurado	Capa obtenida
15	520ºC	30 horas	0.368 mm

Tabla 4. Durezas de temple y revenido (HRC)

Número de pieza	A	B	C	D
1	34	35	38	34
2	34	35	36	35
3	35	35	36	36
4	35	35	34	36
5	35	35	35	35
6	36	36	37	35
7	34	34	34	36
8	34	34	34	35
9	35	35	35	35
10	35	35	36	36
Promedio de dureza (HRc 34-38) de acuerdo con Fig. 1.				

Tabla 5. Resultados de durezas superficiales obtenidas por el proceso termoquímico de nitruración

Evaluación de la dureza de nitrurado a 10 piezas	
Número de pieza	HRc Sección de ensayo A
1	53
2	52
3	52
4	54
5	50
6	51
7	52
8	53
9	54
10	51
Promedio de dureza (HRc 50-54)	

Tabla 6. Resultados del ensayo de tensión

Probeta	Carga máxima	Esfuerzo máximo (MPa)	Dureza (HRc)	Tamaño de grano
1	6,631.52 N	547.4635	36	4
2	13,369.56 N	1034.967	37	5
3	14,121.62 N	1078.732	38	5
4	14,459.45 N	1174.787	40	6

Fig. 3. Martensita revenida gruesa, tamaño de grano ASTM # 4. Presenta ferrita libre (zonas claras), atacada con Nital por inmersión, 30 s. 200X

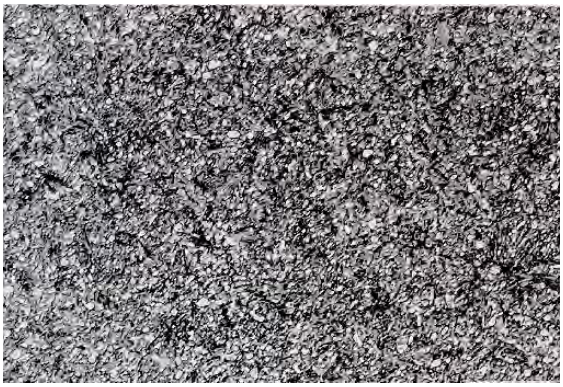


Fig. 4. Martensita revenida fina, tamaño de grano ASTM # 5. Presenta ferrita libre (zonas claras). Atacada con Nital por inmersión, 30 s. 200X

*Tabla **7**. Durezas obtenidas posteriores al temple-revenido.*

Dureza de temple y revenido	Dureza del nitrurado
34	53
35	52
35	52
35	54
35	50
36	51
35	52
35	53
35	54
36	51

Se puede apreciar en la Fig. 6 un promedio de dureza 52Rc, muestreo obtenido de 10 piezas por ensayo de dureza superficial, en la sección A. En la Fig. 7 el muestreo fue obtenido de 10 piezas por ensayo de dureza superficial en la sección A. La Fig. 8 muestra la pieza mecánica fabricada por fundición y tratada de acero 4340 en un remolque de tracto-camión.

Conclusiones

Para ser rentable la fabricación del ojillo, se opto que se fabricara por el proceso de vaciado (fundición), seguido de un tratamiento térmico y termoquímico. Mediante el temple y revenido, fue posible cambiar la microestructura proveniente de la colada y conseguir propiedades mecánicas óptimas para el desempeño a que se someterá dicha pieza, influenciado por una buena selección del material, por tanto la pieza resulta más económica por este proceso que por el proceso de forja.

Figura 5. Ojillo del remolque de un trailer después de ser nitrurado.

Con el tratamiento termoquímico de "nitrurado", se consiguió una dureza superficial elevada; optima para soportar la fricción y desgaste con que interactúa dicha pieza, y su elemento acoplante. Consiguiéndose un núcleo tenaz y con propiedades muy similares al proceso de fabricación por el método de forja.

Referencias

[1]. Matsumoto Y., Barash M.M., Liu C.R., *Effect of Hardness on the Surface Integrity of AISI 4340 Steel.* Journal of Engineering for Industry (ASME), vol. 108, No. 3, pp. 169-175, Aug. 1986.

[2]. Woei-Shyan Lee, Tzay-Tian Su, *Mechanical Properties and Microstructural Features of AISI 4340 High-strength Alloy Steel under Quenched and Tempered Conditions*. Journal of Materials Technology 87 (1999), pp. 198-206.

[3]. Marks Eugene A., Avalone, Theodore Baumeister. *Manual del ingeniero mecánico*. Editorial Mc Graw-Hill

[4]. *ASME HANDBOOK,* Metals Properties, 1ª. Edition. Editorial Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New Cork, 1954.

[5]. Revista Técnica de la Sociedad Mexicana de Fundiciones A.C. *Moldeo y Fundición N*o. *169* / Año XXVI / Febrero 2006.

[6]. Lai G.Y., Word W.E., Clark R.A., Zackay V.E., Parker E.R. *Effect of Austenitizing Temperature on the Microstructure and Mechanical Properties of As-quenched 4340 Steel.* Journal Article, Metallurgica Trans. Vol. 5, Jul. 1974.

[7]. Apraíz Barreiro J. *Tratamientos Térmicos de los Aceros*. 10º Edición CIE Inversiones Editoriales Dossat 2000 S.L.

[8]. Pascual J. *Técnica y Práctica del Tratamiento Térmico de los Metales Férreos*. Editorial Blume, Tuset, S. Barcelona, 1970.

[9]. Avner, Sidney H. *Introducción a la metalurgia física.* Editorial Mc Graw-Hill, México 1980.

[10]. William F. Smith. *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*. Editorial Mc Graw-Hill, México 2005.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 81. Volumen 4(1), 6 páginas.

MÁQUINA ENSAMBLADORA DE GRAPA PARA CABLE

Abraham Rodríguez Galeotte[1], Martín D. Castillo Sánchez[2], Víctor Feria Reyes[3], Salvador Ayala Rodríguez[3], Jesús García Lira[3]

Resumen

En el mercado de los sistemas de fijación existe una gran variedad de dispositivos, los cuales pueden ser cintos, grapas, sujetadores, taquetes, etc. En el presente trabajo se aborda el diseño y construcción de una maquina automatizada para ensamblar el sujetador de cable que consiste en una grapa de polipropileno con un clavo incluido de acero galvanizado, esto con el fin de hacer mas productiva la industria en especifico que se dedica a la fabricación de los mismos, la máquina cuenta con dispositivos neumáticos, sensores infrarrojos, dispositivos electrónicos contadores, sistemas programables, el diseño de esta máquina es un claro ejemplo de la unión sinérgica de todas las áreas de la mecatrónica. Con el diseño y construcción de esta máquina se reducen tiempo de ensamblado y tiempos muertos, se aporta seguridad y eficiencia en la producción.

Palabras Clave: Maquina ensambladora, Proceso automático, proceso manual, sensors, sujetador.

Abstract

The market shows a great variety of devices to fixation which can be belts, staples, bras, fans, this work present the design and fabrication of automated assemble machine for cable staples, with the purpose of increase productivity, this machine have pneumatic devices, infrared sensors, electronic programmable systems, this machine reduce assembled time, dead time, increase security and production.

Keywords: Assemble Machine, Automatic Process, Manual Process, Sensors.

Introducción

El objetivo de diseñar y construir una máquina es resolver la necesidad particular que tenga una empresa, el resolver esta necesidad implica un desarrollo innovador que formará parte de un proceso productivo útil en una compañía. Al no existir comercialmente una máquina para el ensamblado de la grapa tipo sujethor, el diseño se vuelve complejo, ya que deben considerarse aspectos tecnológicos y de calidad para el diseño y la fabricación. Un desarrollo tecnológico de este tipo, requiere la unión sinérgica entre las áreas de la mecatrónica, tales como la mecánica, electrónica, control y programación [1, 2]. En el aspecto de la calidad, se requiere trabajar en la precisión del ensamble, reducción del tiempo de ensamble y eliminar tempos muertos que se tenían en el ensamblado manual [3]. El sistema de sujeción de grapa es utilizado para fijar cable eléctrico o de telefonía a las paredes, consta de una grapa de polipropileno que contiene un clavo el cual es insertado en la pared, como se observa en la Fig. 1. Los requerimientos principales del cliente, son que la máquina pueda ensamblar 500 000 piezas al mes en turnos de 8 horas diarias, 6 días a la semana, un diseño de maquina compacto y robusto, con módulos intercambiables para una mayor flexibilidad de producción. La propuesta de solución incluye las siguientes etapas:

Primera etapa: Sistema de alimentación de clavo. Consta de tolvas de almacenamiento alimentador vibratorio y guías de acomodo.

Segunda etapa: Sistema de alimentación de grapa. Requiere de alimentación de grapas sueltas, alimentador vibratorio y transporte de grapas mediante guías.

Tercera etapa: Ensamblado del clavo en la grapa. Requiere de un pistón que mediante el vástago conectado a una placa introducirá los clavos en un punto determinado para lograr la producción deseada.

[1] IPN- UPIITA, Av. IPN 2580, Col. La Laguna Ticomán, CP 07738. Tel. 57296000 Ext. 56882. E-mail: egaleotti1935@hotmail.com
[2] IPN- ESIME – SEPI – Zacatenco. México. D. F. E-mail: jgarcialira@gmail.com
[3] IPN – ESIME – SEPI – Azcapotzalco. México. D. F. E-mail: jgarcialira@gmail.com,

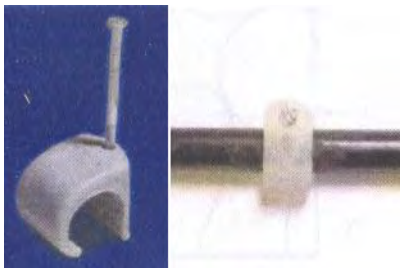


Figura 1. Grapa ensamblada con clavo

Materiales y métodos

El proceso de ensamblado de la grapa con clavo empieza cuando las membranas de grapas salen de la maquina inyectora de plástico, cada membrana consta de 100 piezas. Posteriormente son cortadas manualmente y recolectadas en cajas, para ensamblarse a mano posteriormente, como es un proceso lento, a continuación se detalla el desarrollo metodológico seguido para diseñar y construir la maquina automática ensambladora de grapa y clavo sujetador de cable.

Selección del material

Estructura

Con respecto a la estructura, esta soportará todo el peso de las guías, cargadores, cubas vibratorias, motores, electroimanes, exceptuando las toberas. Se seleccionó un acero al carbono ASTM A36, en perfil cuadrado de 38mm x 38mm x 3mm de espesor.

Tazones y toberas

El material seleccionado es lámina negra. La lámina negra rolada en frío de calibre 22 (A36) es el material idóneo para construir estos dos elementos debido a que su composición en bajo carbono la hacen moldeable, el proceso de soldado es sencillo, además es muy fácil de adquirir por su bajo costo.

Cargadores

Como este módulo irá en las guías, el material seleccionado debe ser ligero. Este dispositivo tiene que ser maquinado de una placa de 5mm. Por lo tanto, el aluminio es ideal para ello ya que el aluminio absorbe más energía al impacto por unidad de masa que el acero o el plástico

Guías

Esta sección se hará de aluminio, como prototipo se maneja este material, ya que en primera instancia sólo requerimos que el material se deslice fácilmente, el aluminio genera un coeficiente de fricción prácticamente despreciable.

Sistema de alimentación

La principal función del sistema de alimentación es almacenar y proveer al sistema de orientación, tazón vibratorio, de material, clavos y grapas. Este sistema consta de una tobera hecha de lámina galvanizada calibre 22, la cual fue unida por medio de remaches de 3/16", dándole como acabado final un revestimiento de cromo. En el interior de la tobera se encuentran dos rodillos fabricados con nylamind conteniendo una banda de espesor de 1.5mm. Además cada tobera cuenta con un cucharón para llevar al material al siguiente sistema como se muestra en la Fig. 2. Para alimentar esta máquina se requieren dos toberas que serán y contendrán los mismos componentes, la diferencia radica en la salida de la tobera. En las grapas la altura de la salida es mayor para que no se atoren en el transcurso del movimiento de la banda, por lo que la salida para los clavos es menor. En el caso de los clavos, la tobera fue diseñada para almacenar 2Kg. de clavos para concreto de 1" de largo, aproximadamente 2500 clavos. Para las grapas, abarcan 1 Kg de piezas, que se estima sean 2000 unidades. Este sistema será movido por un motor, que tendrá unido al eje una rueda dentada que transmitirá el movimiento a los rodillos como lo muestra la figura 3. La velocidad a la que ira girando los rodillos es a 1 cm/s= 0.01 m/s, ya que requerimos que el material caiga lentamente al sistema de orientación. La potencia que se requiere para vencer el peso del material esta dada por: P = 0.91148kw, la transmisión se hará mediante cadena con una longitud calculada de 96.97m, los diámetros de las ruedas dentadas son. D1 =

17mm y D2= 35mm. Las dos bandas serán activadas 20 segundos para que caiga el material al sistema de orientación, cuando este indique un bajo nivel de material [4, 5]. El sistema de orientación estará montado sobre una base, que esta sujeta a la mesa principal, debido a que la alimentación debe estar en un lugar más alto para que caiga el material por medio del cucharón como lo muestra la figura 4.

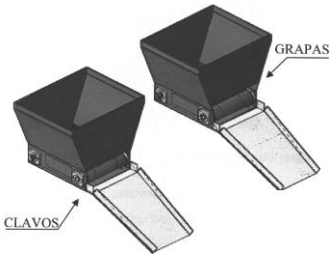


Fig. 2. Componentes del sistema de alimentación

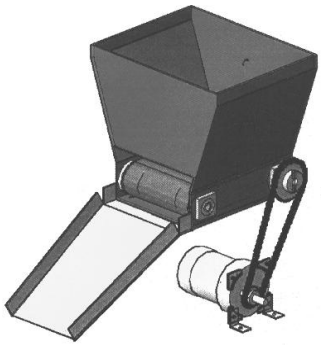


Fig. 3. Transmisión del movimiento por medio de cadena

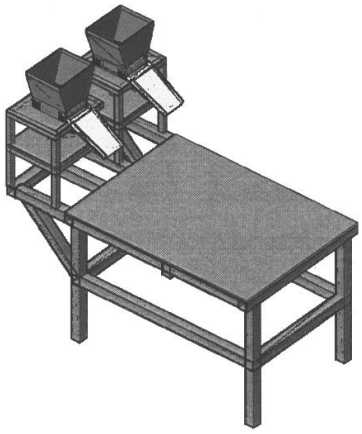


Fig. 4. Ubicación del sistema de orientación

Sistema de orientación

El objetivo de este sistema es orientar el material que nos han proporcionado las toberas, de tal forma que los clavos y grapas tengan una posición adecuada para pasar al siguiente sistema. La orientación del material se lleva a cabo mediante tazones vibratorios. Consta de un tazón vibratorio, compuesto de una pista en forma de espiral con un ángulo de inclinación muy pequeño, para que el material vaya subiendo a través de las vibraciones de un electroimán.

Tazón para los clavos

El tazón para los clavos contiene trampas de forma cuadrada, hechas de lámina inclinadas a lo largo de la espiral para que no se formen aglomeraciones en las dos vueltas del espiral. Sólo pasarán una cama de clavos sin estar uno encima del otro. En la parte final de la espiral se incluye una pequeña trampa en forma de Y para que se vayan acomodando los clavos en una sola dirección.

Tazón para las grapas

Para las grapas, las trampas consisten en pequeños topes colocados en el costado del tazón de forma cuadrada y uno de la forma de la grapa con el chaflán orientado hacia el lado derecho, con la finalidad de que solo se oriente una grapa y quede de pie no en forma acostada.

Sistema de transporte

Clavos

Este sistema esta conformado por una guía ranurada, al diámetro del clavo a lo largo de la misma, al final se encuentra un barreno del diámetro de la cabeza del clavo. Al inicio de la guía se encuentran unos ángulos que ayudarán al material para que no se desvíe de la ranura. Inmediatamente después de que los clavos están orientados en la última trampa, estos caerán por gravedad a la ranura e irán recorriendo el camino, la fuerza se la proporciona las vibraciones del electroimán ya que la guía va unida al tazón.

Grapas

En el caso de las grapas, existe una guía de forma cuadrada, con un canal del tamaño de la grapa, donde irán avanzando a lo largo del camino. Para que la grapa no brinque o se desvié, se colocó una placa a lo largo de la canaleta, así aseguramos que las grapas sigan el camino de una guía. Esta guía aprovecha la vibración provocada por los tazones para poder mover con mayor rapidez el material, la guía se encuentra acoplada al tazón, eso permite estabilidad y un flujo continuo. La canaleta contará con dos sensores de contacto para determinar si hay flujo constante o no.

Sistema de llenado de clavos y grapas

Clavos

Básicamente es un canal con el diámetro de cabeza del clavo que es aproximado a 4 mm, tiene una altura de 70 mm. Los clavos caerán por la ranura los cuales son dirigidos al canal descrito anteriormente. Entrando los clavos en la ranura bajan por la misma gravedad para posicionarse en los barrenos de las grapas. La colocación de los clavos en las grapas se hace uno por uno, utilizando un pistón para detener el flujo de los clavos que vengan en las guías de acomodo. El movimiento del cargador se hace con la ayuda de un husillo.

Grapas

Para el llenado de grapa, el sistema es muy similar, con la ayuda de la canaleta es dirigida al elemento que llena los cargadores. En este dispositivo se encuentra un solo cargador, el cual consta de 15 grapas para hacer el ensamble de 52 por minuto, el movimiento se hace por medio de un husillo que es impulsado por un banda dentada y un motor de 1/20 de HP.

Sistema de ensamble

Este sistema consta de tres actuadores neumáticos los cuales se encienden en forma secuencial. Al avanzar el cargador con el husillo, inicia el conteo, hasta llegar a la cuenta de 10, llegando a esa cuenta, el segundo actuador se enciende para detener el flujo de grapas, seguirá avanzando hasta llegar a los sensores del segundo actuador donde después de ser activado inicia otra cuenta de 10 para activarse, y detener el flujo de clavos hasta llega al tercer actuador donde hace el ensamble presionando el material con una grapa.

Diseño neumático

Datos del pistón a utilizar:Tipo de doble efecto, DSNU cilindros redondos, diámetro del émbolo: 32mm, carrera: 50mm, amortiguación: P Anillos y discos elásticos en ambos lados, Detección de posiciones: A Mediante detectores de proximidad Variante: MA Conexión axial del aire comprimido. La presión de funcionamiento del tipo básico DSNU oscila entre 1 hasta 10 bares de presión. Estimamos una presión de 2 a 4 bares, para poder ensamblar, y la carga de 0.5 N como máximo.

Diseño electrónico y de control

Esta maquina tiene un consumo de potencia aproximadamente de 1 kW, con una corriente aproximada de 10 A, cada sistema en que esta divido cuenta con fusibles que protegen uno del otro, tiene luces señalizadoras (pequeños LED) para verificar cada uno de los procesos, un control de velocidad y posición en sistemas determinados. El lenguaje de programación utilizado es ensamblador para los microcontroladores a utilizar y cuenta con retroalimentación por medio de sensores para saber en todo momento donde se encuentra y lo que esta haciendo. El sistema posee una fuente de alimentación de hasta 5 A con salidas de 5, 12, 24 V. para cada uno de los sistema excepto uno, donde necesita una entrada de 115V de CA. Cada uno de los sistemas anteriormente nombrados son controlados por dos microcontroladores que intercambian información, realizando la función de supervisión para cada uno de los sistemas. Los tres Primeros sistemas son controlados por un microcontrolador ATMEL 901200, de 2 puertos de 8 bits, bidireccionales.La interfaz hombre-máquina es mediante una botonera, la cual posee tres estados con las siguientes funciones: encendido, paro y paro de emergencia [6, 7, 8].

Sistema de alimentación del material

Al encender la máquina el Microcontrolador AT901200 verifica por medio de un sensor colocado dentro de las tolvas si existe material, en caso contrario, activa una señal sonora para avisar al operario que le falta material o que no hay presencia de el. El sistema es conformado por 2 motores de CD de 12V, 1A y son activados por un driver L293B, los motores son accionados para abastecer de material a los tazones de alimentación, y se desactivaran cuando el sensor dentro de estos indica que tiene el material necesario y desactive a los motores.

Sistema de orientación del material

En el sistema de orientación para los dos diferentes tipos de material (clavos y grapas), es muy semejante. Para poder activar los electroimanes se debe tener cuidado sobre la demanda de corriente que tiene el dispositivo. Este cuenta con una activación mediante un Triac, en este caso se utilizara el Mac12D que soporta un amperaje de 12 con un máximo de 800 V, en una frecuencia de oscilación de 40 hz. El movimiento vibratorio es provocado por medio de un electroimán colocado en la parte inferior del tazón.

Consume una corriente de 1 hasta 4 A, con un voltaje nominal máximo de 70 V. Posee una frecuencia determinada por un LM555 en su forma estable. Se utiliza un optoacoplamiento para activar y desactivar el Triac, que maneja 800V máximo a 12A.

Sistema de llenado de los cargadores

El llenado de los cargadores debe ser muy rápido, para este sistema se optó por la utilización de un Attiny2312 debido a que su velocidad de lectura es de 20 MHz. Esto nos permite tener una resolución exacta en el encoder. Se utilizará el puerto D de entrada y puerto B de salida. Cuenta con los siguientes dispositivos: un motor que tiene un consumo de energía de 10V, 3A, para su control, se utilizó un puente H elaborado por transistores de potencia que soportan una tensión de 24V a 6A, además cuenta el motor con un encoder con 40 posiciones, cada una de estas posiciones está determinada por un sensor óptico (constituida por fototransistor emisor y receptor) que está montado dentro de este (del motor?), que a su salida proporciona una corriente de 20 mA y un voltaje de 2.5 V a 4.7 V.

Sistema de ensamble

Para el sistema de ensamble como es en su totalidad neumático, solo se controlarán las electroválvulas que manejan voltajes de 115V, 2A. Se activará por medio de un Triac que será controlado por señales de activación que mandará el microntrolador ya que verifique que los dos materiales están en posición adecuada para el ensamble. Por medio de sensores de inicio y fin de carrera se determinará cuando haya hecho el ensamble [9, 10].

Sistemas de almacenamiento

Este sistema solo activa una electroválvula para enviar a presión el aire expulsar las piezas del cargador. En este ultimo sistema al salir las piezas son almacenadas en un contenedor que se colocó en la parte inferior de la máquina.

Resultados

En la Fig. 5 se muestra el ensamble final de la máquina diseñada y fabricada, la cual fue sometida a pruebas de producción, encontrándose que puede producir hasta 500 000 grapas ensambladas con el clavo en turnos continuos de 8 horas diarias, se observó que los tazones y toberas pueden estar sujetos a corrosión si el ambiente en que se trabaja es muy húmedo, por lo que sería necesario recubrirlos para tal fin, debido a que hay un consumo alto de corriente se optó por colocar ventiladores para la mejor disipación del calor en el sistema de orientación del material.

Conclusión

Se logró el objetivo de diseñar y fabricar una maquina ensambladora de grapa con clavo. Se cumplió con el requerimiento para que la máquina sea adaptable a otras configuraciones dimensionales de grapa y de clavo.

La configuración diseñada se puede adaptar al ensamble de partes pequeñas en otro tipo de empresa lo cual haría que su uso se extendiera.

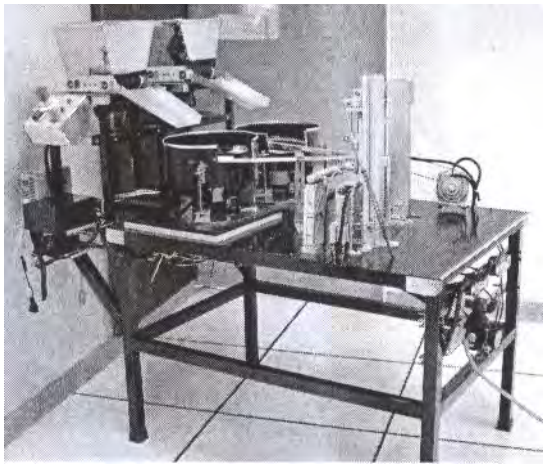


Figura 5. Prototipo final obtenido de maquina ensambladora de grapa-clavo.

Referencias

[1] Bolton W. Mecatrónica. Sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica. 2ª Edición. Editorial Alfaomega, 2001.
[2] Beer, Ferdinand P. Mecánica de materiales. Octava Edición. Mc Graw Hill, 2007.
[3] Hibbeler, R. C. Mecánica de Materiales. Décima edición. Pearson. Prentice Hall. 2004.
[4] Dawson D. Mechatronics: electronics in products and processes. Primera Edicion. Editorial Chapman Hall, Londres, 1993.
[5] Rashid Muhammad H. Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones. Tercera edición. Pearson Education. México 2004.
[6] Seguí Chilet Salvador. Electrónica de potencia: Fundamentos básicos. Tercera edición. Editorial Alfaomega. México 2009.
[7] Hart Daniel W. Electrónica de potencia. Primera edición español. Prentice Hall, Madrid 2009.
[8] Seto William W. Vibraciones mecánicas. Primera edición. Editorial Schaum. México 1997.
[9] Serrano Nicolás Antonio. Neumática. Primera edición. Editorial Thomson Paraninfo., Madrid 2000.
[10] Deppert W. Aplicaciones de la neumática. Primera edición. Editorial Marcombo. Barcelona 1991.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 82. Volumen 4(1), 6 páginas.

ANALISIS DE ESFUERZOS RESIDUALES POR EL MÉTODO DEL ELEMENTO FINITO EN UNA SOLDADURA DE ACERO INOXIDABLE

Jesús García-Lira[1], Martín D. Castillo Sánchez[2], Salvador Ayala Rodríguez[1], Abraham Rodríguez Galeotte[3]

Resumen

En el presente artículo, empleando el análisis por elementos finitos, se estudió el comportamiento de los esfuerzos residuales durante la soldadura aplicada, en condiciones de servicio de un tubo de acero inoxidable utilizado en instalaciones de la industria petroquímica. El Proceso seleccionado fue la soldadura MIG o Gas metal Arc Welding (GMAW), el cual es muy utilizado en muchos tipos de industria manufacturera y de mantenimiento. Las principales características de este proceso son la productividad y la calidad. Las condiciones de trabajo para la aplicación de la soldadura utilizadas fueron: presión de gas de 140 kg/cm^2, intensidad de corriente de 170 Amperes, mezcla del gas (80% CO_2 – 20% Argón) y microalambre de 35 milésimas de diámetro. El análisis por elemento finito (FEM) de la unión soldada revela que existe un gradiente de tensiones alrededor de la zona de fusión de la unión soldada. El gradiente de tensión cerca de la zona de fusión es superior a cualquier otro lugar de la unión soldada, se ha detectado que esto es una de las razones más importantes para el desarrollo de grietas en frío en la zona de fusión en el material. Con el fin de evitar estas grietas en la soldadura por el esfuerzo térmico en la unión soldada, se minimiza el calor de entrada de la soldadura en el material.

Palabras clave: Acero inoxidable, elemento finito, esfuerzos residuales, soldadura MIG, unión soldada.

Abstract

In the present article, using the finite element analysis (FEM), the behavior of residual stresses in applied welding was studied; the petrochemical industry stainless steel tube was used. The welding process was MIG or metal inert gas, which is much utilized in many types of manufacturer and maintenance industry. The welding application conditions were: gas pressure 140 Kg/cm2, intensity 170 Amperes, gas mixed 80% CO_2, 20% Argon and 0.35mm of wire diameter. The analysis with finite element in the welded joint reveals a tensions gradient around the melting zone which is superior to any other place in the welding zone, it has been detected that this tensions are the principal cause for the development of cold cracks in the melting zone in the welding joint, the entrance heat is minimized in the welding joint.

Keywords: Finite Element, MIG Welding, Residual Stress, Stainless Steel, Welded Joint

Introducción

El acero inoxidable austenítico 310 es una acero refractario de amplio uso en aplicaciones a elevadas temperaturas, sobre los 650°C. Uno de los problemas que puede presentar es la formación de estructuras frágiles como la fase sigma. Los aceros inoxidables austeníticos por lo general contienen 25% Cr y 25% Ni, son ampliamente usados por la industria del petróleo [1], alimenticia y química [2] en hornos de alta temperatura como lo de refinación primaria y de servicio de vapor, el servicio típico oscila entre 760 – 1100°C.

[1] IPN – ESIME – SEPI – Azcapotzalco. Av. de las Granjas No. 682, Col. Sta. Catarina Azcapotzalco, C.P. 02550, México,D.F., México. E-mail: jgarcialira@gmail.com,

[2] IPN – ESIME – SEPI – Zacatenco. Unidad, Profesional Adolfo López Mateos, Col. Lindavista, C.P. 07738, México, D.F. México. E-mail: avinfer@hotmail.com

[3] IPN- UPIITA, Av. IPN 2580, Col. La Laguna Ticomán, CP 07738. Tel. 57296000 Ext. 56882. E-mail: egaleotti1935@hotmail.com

Los tubos reformadores que se usan en las plantas petroquímicas son producidos comercialmente por fundición centrífuga, sus microestructuras son diferentes en todas las partes del tubo por sus temperaturas diferentes de trabajo [3]. Por lo tanto, se investigo los efectos de calor en el material, la cual al tener temperaturas muy altas, estás pueden ocasionar el crecimiento de grietas, provocando así la falla del material por ruptura, siendo esto significativo para la ingeniería práctica.

Los esfuerzos residuales inducidos en un material por un proceso de soldadura tienen una gran importancia y son objeto de gran interés científico por su influencia en el posterior comportamiento en servicio. La necesidad de su conocimiento y su influencia se hace evidente también, por ejemplo, en las reparaciones por soldadura que se practican en tuberías y depósitos a presión. Los esfuerzos residuales que se originan en el proceso de soldadura son consecuencia de dilataciones y contracciones que aparecen como producto de un calentamiento local del material, así como por cambios dimensionales causados por diversas transformaciones microestructurales que se presentan [4].

Desarrollo experimental

El material utilizado en este experimento es una aleación de acero inoxidable fundida y se basa en la Norma ACI (Instituto de Fundición de Aleaciones), grado HK40 resistente al calor [5]. Esta aleación contiene hasta 25% en peso de Ni y 25% en peso de Cr. Para la realización de esta investigación se tomó una muestra de una tubería de acero inoxidable de 4" (101.6 mm de diámetro y 1" (25.4 mm) de espesor, se cortaron cuatro muestras y se les maquinó para dejarlas planas y se les hizo un bisel con una fresadora a un ángulo de 60°, esto es a cada una de las muestras, de tal forma que cuando se encuentren de frente formen un doble bisel en forma "V" en el cual será aplicada la soldadura, Fig. 1. Este acero es utilizado para el transporte de hidrocarburos, el cual se clasifica como un acero inoxidable de alta temperatura HK40, contiene dos elementos de aleación principal, el cromo y níquel, cuya composición química se muestra en la Tabla 1.

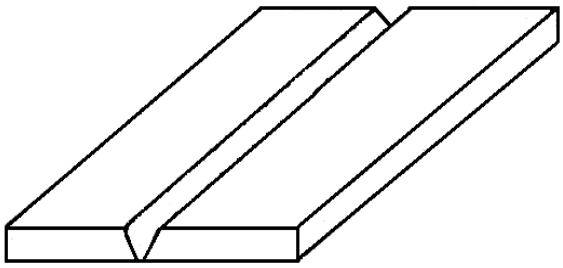


Figura 1. Junta en "V" para chapas y placas

Tabla 1. Composición química del acero inoxidable 310 (% en peso).

Elemento	C	Mn	Si	Mo	Cr	Ni	P	S
%	0.41	1.05	1.21	0.048	25	20.5	0.02	0.1

El depósito de soldadura MIG según norma AWS (American Welding Society) AWS (ER 310), se realizó con las siguientes condiciones de trabajo: diámetro de microalambre 0.08" (2.032 mm), intensidad de corriente (I) 70 A, mezcla del gas (80%CO_2 + 20%Argón) y una presión del gas de 140 kg/cm^2. Los aceros inoxidables deben ser manejados con más cuidado que los aceros ordinarios, en el corte y montaje [6]. El cuidado que se tenga en la preparación de la soldadura incrementará la calidad de la soldadura y la terminación del producto, lo cual dará un óptimo rendimiento en servicio. En la Tabla 2 se muestra la composición química del microalambre que se utilizó en esta investigación para el llenado del bisel, y en las Figs. 2 y 3 se muestra el cordón aplicado por el proceso MIG y los esfuerzos residuales en el cordón.

Tabla 2. Composición química del microalambre (AWS 5.18 ER 70S-6), utilizado en el proceso de soldadura MIG.

Elemento	Si	Mg	Cr	Mo	Cu	Ni	Cd
%	0.80	1.40	0.15	0.15	0.50	0.15	0.6

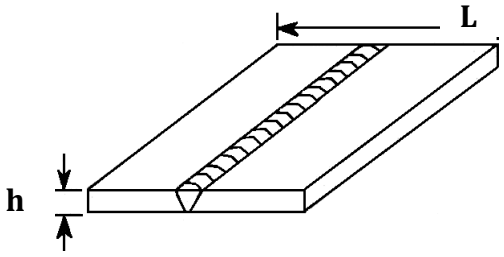


Figura 2. Cordón aplicado por el proceso MIG.

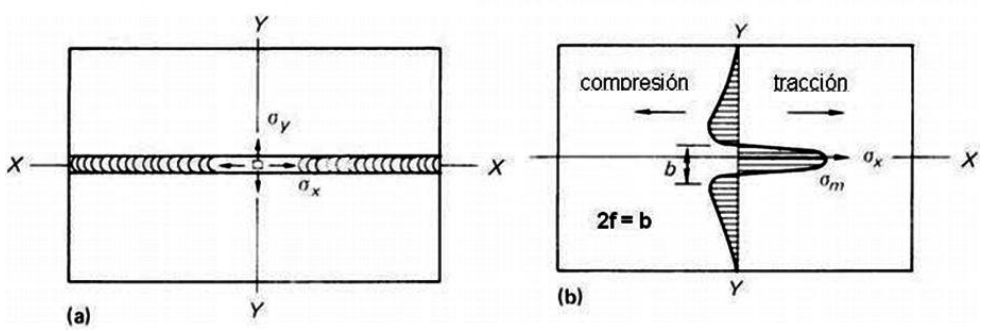


Figura 3. Esfuerzos residuales en el cordón de soldadura

Resultados obtenidos

La simulación numérica nos permite obtener los esfuerzos residuales y deformaciones durante el proceso de soldadura. Los resultados de deformaciones obtenidos son aproximados y razonables, ya que en el proceso de soldadura a bisel dependen de la variación de sus propiedades mecánicas, según las Figs. 4 a 6. La verificación de la precisión de los valores de esfuerzos resulta bastante complicada desde el punto de vista experimental; una referencia experimental con respecto al ciclo térmico se puede obtener mediante la medición de los valores de dureza [8].

La atención de varios investigadores de los últimos años, como E. Bonifaz, J. Hong, entre otros [Hong J., 1998], [Bonifaz E.A., 2000], [Yancey R., 2004], se ha dirigido al análisis y modelación de los esfuerzos residuales provocados por la soldadura, producto del calor no uniformemente distribuido en la junta, el efecto de la contracción y como consecuencia las deformaciones mediante métodos computacionales.

Conclusiones

La modelación del análisis mecánico permitió cuantificar los esfuerzos residuales producto del proceso de soldadura.

En el modelo, y con las mediciones realizadas se comprobó que en la pieza de metal se forman esfuerzos residuales como resultado de la soldadura. El esfuerzo residual longitudinal es el de mayor importancia.

De las mediciones y del análisis del material base se concluye que aunque se mejoren los procesos y se automaticen siempre estará presente la calidad de la materia prima.

Referencias

[1]. J. I. Mucek M W, Materials Performance 9 (1983) 25-28.
[2]. Ropital F, Sugier A, Bisiaux M, Revue De L'Institut Francais Du Petrole 44, (1989) 91-101.
[3]. R. Davis; "Heat – Resistant Materials", American Society for Metals, Handbook, USA 1997.
[4]. Robert D. Cook. Finite Element Modeling for Stress Analysis. Edition John Wiley and Sons, Inc.
[5]. American Welding Society. Welding Handbook, 7a. Ed. Vols. 1 y 3 and from the 6a. Ed., Vol. 4, 1985.
[6]. L. E. Lindgren. "Finite Element Modelling and Simulation of Welding. Part I"; Increased Complexity, Journal of Thermal Stresses, Vol. 24, pp 195-231, 2001.
[7]. L. E. Lindgren. "Finite Element Modelling and Simulation of Welding. Part III"; Efficiency and Integration, Journal of Thermal Stresses. Vol 24, pp. 305-334, 2001.
[8]. D. Peckner and I. M. Berstein; "Handbook of stainless steels", Ed. McGraw-Hill, USA 1977.

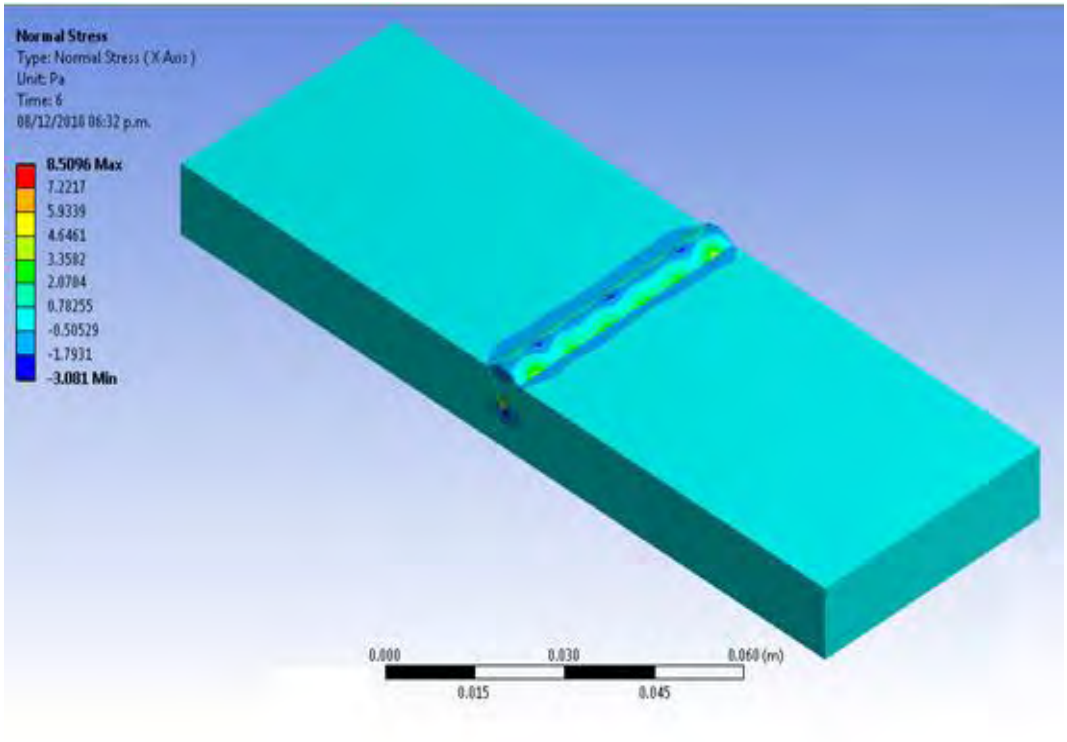


Figura 4. Esfuerzo normal en el cordón de la Soldadura

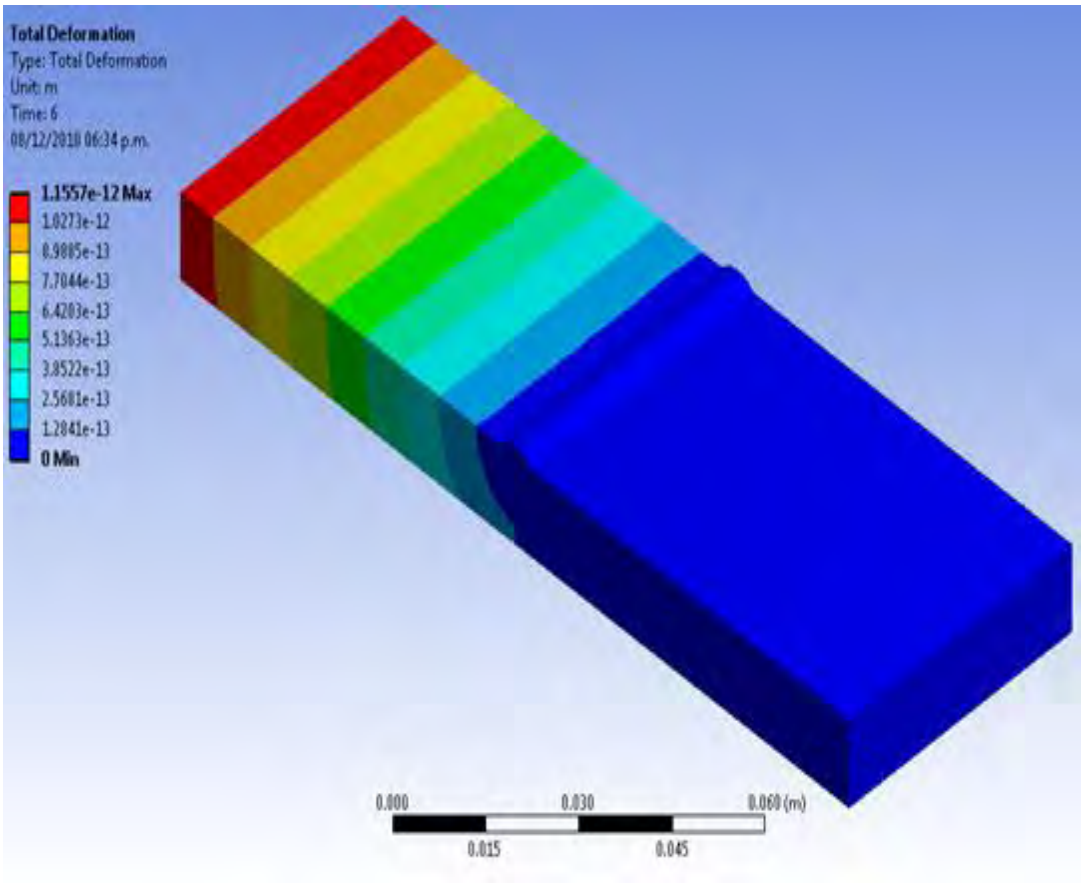


Figura 5. Desplazamiento lineal de esfuerzos.

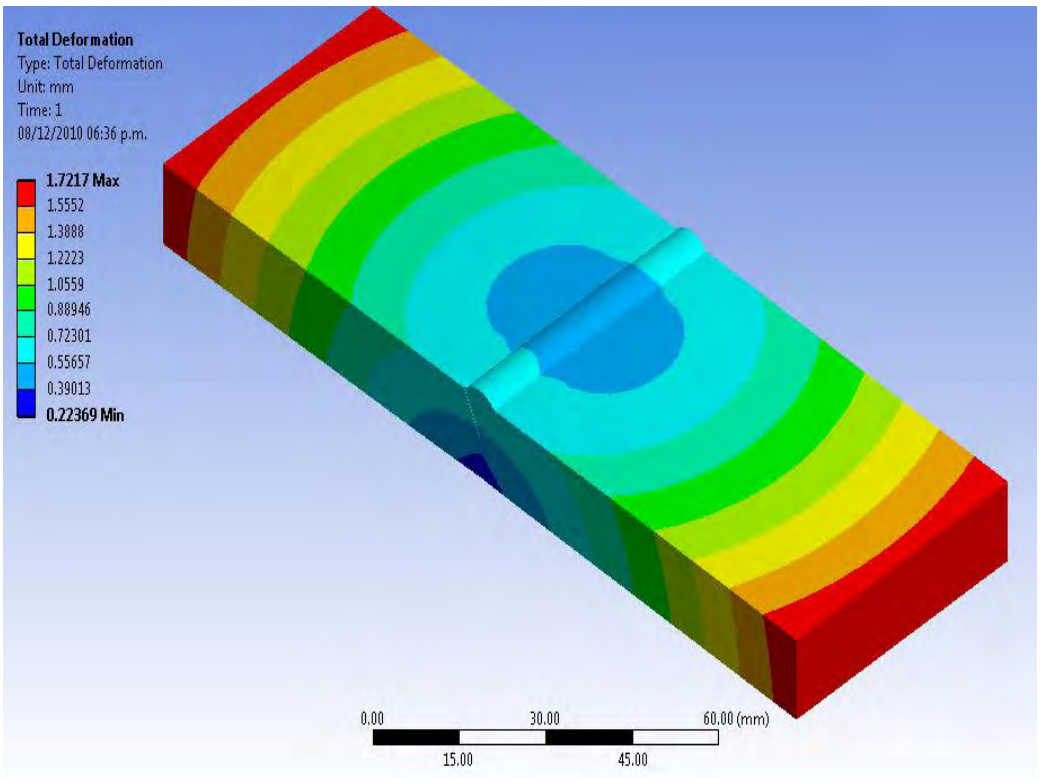


Figura 6. Deformación total de la probeta.

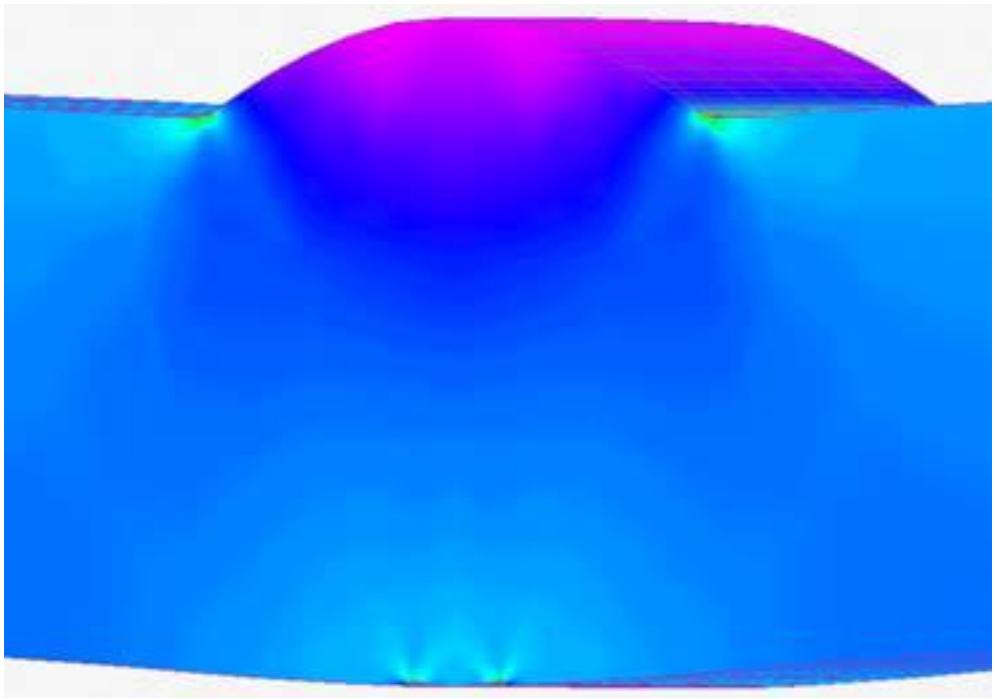


Figura 7. Observación esfuerzos residuales

Página en blanco

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 83. Volumen 4(1), 8 páginas.

DOUBLE ECOLOGIC FUEL

Kiernicki Zbigniew[1]

Summary

The researches on the use of biodiesel fuel and fuel derived from waste plastics as fuel components have been presented in the paper. FAME was the bio-admixture in the fuel. The catalytic cracking of polyolefin's was the source of other fuel admixture. The physical properties of the analyzed components of the fuel have been presented. The operational parameters of direct injection diesel engine fuelled by tested fuel blends have been set out. The preparation of the fuel mixture has been also described.
Keywords: Alternative Fuel, Diesel Engine, Fuel Composition, FAME, Polyolefin.

Introduction

One way of making the engine more environmentally friendly is the use of admixtures of substances characterized by carbon cycle that acts above earth surface. This kind of fuel is generally based on crop production.

In the case of diesel engines the processed vegetable oils are used, in the case of low-pressure engines the alcohol from cereals and other plants is used.

Fuel mixtures with only one type of admixture are mostly considered. Then their properties are researched and the way for its implementation is looked for.

When fuel additives to diesel engines are used, the basic problem is the physical properties change of the fuel mixture. The change appears due to the fact that both vegetable oils and esters of these oils have a higher density and viscosity than the fuel derived from petroleum processing.

A way to reduce this phenomenon can be presented in the paper the idea that, together with additives of vegetable origin other additives are used, but with lower density and viscosity than the ones of base fuel. Such an additive could be a fuel derived from processing waste polyolefin [6], [7].

Fuel obtained from waste plastic (polyolefin) also has the characteristics of ecologic fuel, because it is produced in plastic recycling and helps achieve the goal of total elimination of the storage of waste plastics in a landfill.

Therefore, the application of both types of alternative fuels to create fuel for diesel engines could allow a significant increase in impurities in the fuel, which enhance the ecological effect.

Physico-chemical properties of tested fuels

There were analyzed the physical and chemical properties of the following fuels: diesel oil Verva from Orlen refinery, biodiesel FAME (methyl esters of rapeseed oil) and fuel from waste plastics POC (PolyOlefin's Catalytic Cracking) [4].

It should be noted that the current commercial fuel (i.e. Verva) comprises about 3-5% of FAME additive, but in the studies this fuel was treated as base fuel. The properties of base fuel are shown in Table 1, according to the manufacturer data [1].

POC fuel used for research is produced by catalytic cracking of polyolefins polluted, mainly film and plastic bags [9]. Cracking installation consists of a reactor and distillation column. Reactor with a capacity of 6 m³ is made of steel (without stirring) and set on stove with burners. The reactor is equipped with a lock to allow continuous dosing of the raw material in quantities of 30-50 kg with a suitably chosen mixture of the catalyst forming compounds of aluminum and other metals.

[1] Politechnika Lubelska, Katedra Pojazdów Samochodowych, PL 20-618 Lublin, Nadbystrzycka Str. 36, Poland.Tel. +48815385257. E-mail: z.kiernicki@pollub.pl

Table 1. Specification of diesel fuel used in the study, according to PN-EN-590 and ZN/ITN-ORLEN/NF-229/2004 [1]

No	Performance characteristics	Measured value DF Verva	Requirements PN EN-590
1.	Density at temp. 15°C [kg/m3]	837	820÷845
2.	Physical distillation [% V]: up to 250°C distillates up to 350°C distillates 95% distillates up to temperature [°C]	 33 96,5 344,4	 min. 65 max. 85 max. 360
3.	Cetane Indeks	58,1	min. 46
4.	Cetane Number		
5.	Kinematic Viscosity [mm2/s] at 40°C	3,001	2÷4,5
6.	Sulfur content [% m/m]	0,0085	0,01
7.	Flash Point [°C]	75	min. 56
8.	Total content of solid rests [mg/kg]	7	max. 24
9.	Copper strip corrosion (3h, 50°C)	1	No. 1
10.	Oxidation stability [g/m3]	8	10
11.	Ash content [% m]	0,001	max. 0,01
12.	Carbon residue [% m]	0,01	max. 0,03
13.	Cloud point [°C]	-13	-
14.	Cold filter block temperature [°C]	-14	max. -20
15.	Water content [mg/kg]	70	max. 200
16.	Aromatic hydrocarbon content [% m]	1,80	max. 7
17.	Lubricity, wear place diameter (WSD 1,4) [µm]	354	max. 460

Rectifying column (filled rings) is fitted with two condensers to allow for the collection of two fractions of liquid and gases, as well as a team thermocouple (to measure the temperature inside the reactor and at the top of the column.) The system further includes a cooling tower and installation of causing nitrogen. Nitrogen is introduced into the surface of cracked plastic and causing mixing of the charge is distributed over the entire installation, which significantly affects the safety of the process. Plant capacity is from 200 to 400 dm3/h of liquid hydrocarbons.

As a result of cracking of various polyolefin's a mixture of hydrocarbon compounds is obtained, which contains saturated hydrocarbons, unsaturated and branched with a significant predominance of the latter. They are products of gas and liquid with temperatures at the top of the column from 50 to 200º C and from 200 to 315º C.

Table 2 presents some properties of biodiesel (FAME) and the fuel obtained from waste plastics (POC). The fraction of lower boiling point consists of hydrocarbons from C6 to C14. The fraction of higher boiling point (200-315oC) consists of hydrocarbons from C6 to C28 predominantly heavier, with the exception that 47% are hydrocarbons from C6 to C13 [8].

Table 2. Some properties of rapeseed FAME biofuel and POC fuel used in the study [4].

No	Performance characteristics	Measured value POC	Measured value FAME
1.	FAME content [%]		96,8
2.	Density at temperature 15°C [kg/m3]	808	870
3.	Kinematic Viscosity [mm2/s] at 40°C	2,10 (at 20°C)	4,20
4.	Sulphur content [% m/m]	0,0125	
5.	Flash Point [°C]	62	180
6.	Copper strip corrosion (3h, 50°C)	No 1	No 1
7.	Acid number [mgKOH/g]		0,1
8.	Jod number [g jod/100g]		110
9.	Lower heating value MJ/kg	42	

As a result of process, the liquid products are obtained over a wide temperature range. Properly selected cracked hydrocarbon fractions can be used alone as heating fuel or as a component for the production of motor fuels.

Experiments and preliminary results

Laboratory tests were performed to verify the information supplied by the manufacturer of fuel. Density measurements were made for POC fuel and its mixtures with diesel fuel (DF). Measurements were performed using the hydrometer and thermometer, used to control the temperature of the fuel. The results of mixture density measurements are presented in Table 3.

Table 3. Density ρ of test fuel blends [8]

Fuel type	t [°C]	ρ [kg/m³]	ρ [kg/m³] in 15°C
POC 100%	27	800	809
POC 50%		814	823
POC 25%		822	831
DF VERVA		829	838

The research POC fuel density and its blends with diesel fuel can be stated that it has a density of less than 3.6% the density of diesel. The density of POC fuel – standard diesel fuel mixtures varies linearly, increasing with the decrease of POC content in a fuel blend (Fig. 1).

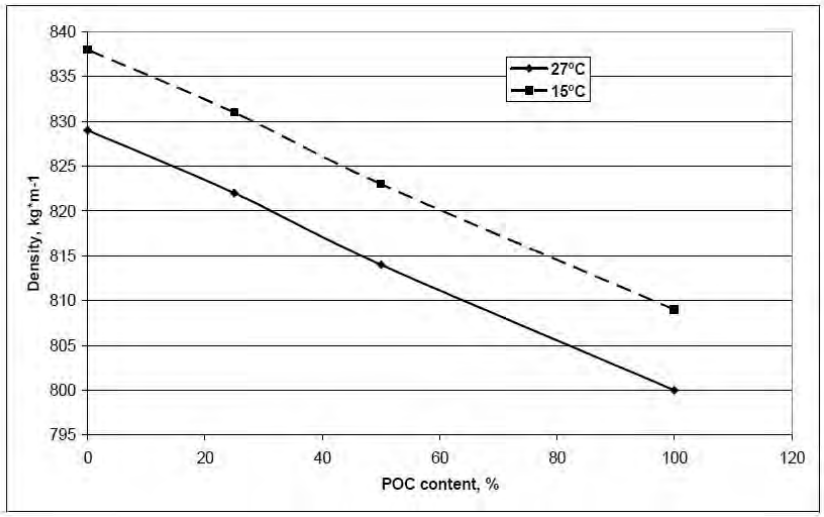


Fig. 1. The change of POC-DF mixtures density.

Motor tests have been performed on brakeless stand described in [4] and [5]. The general scheme of the test stand is shown in Fig. 2.

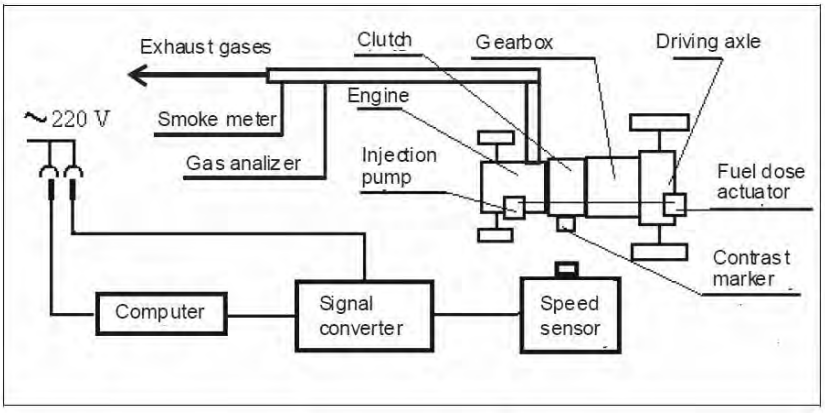


Fig. 2. General scheme of the test stand

The test stand has been prepared on the base of Ursus C-360 farm tractor which is equipped with four cylinder direct injection diesel, of S-4003 type. The clutch has been disconnected thus engine worked without external load. Modified supply control system enabled quickly changing of injection pump lever position.

Pneumatic tractor wheels avoided all problems associated with the suspension and engine vibrations. Ambient conditions and engine temperature have been checked by means of instruments which are typical equipment of test house. The view of test stand is presented in Fig. 3.

Fig. 3. View of the bench: 1 - test engine, 2 - angular velocity sensor, 3 - measuring interface, 4 - gas analyzer Technotest M-488, 5 - control unit (notebook 486/33 MHz), 6 - Olivier opacimeter D60, 7 - removable fuel tank

Speed dynamic characteristics are obtained on the basis of the unladen motor response to a step change in dosage of fuel [3]. The engine was forced to accelerate through a step change in fuel delivery to the maximum value. Quick off the dosage resulted in slowing down the engine. Thus the transient conditions of engine operation have been achieved what corresponds to engine operational characteristics.

Measurements were performed in series, for each fuel successively. Each series comprised 15 acceleration-retardation cycles, executed in the same test start conditions: rotational speed (close to idle speed) and constant temperature of the motor oil and the coolant (according to the manufacturer's specifications). The supply system was flushed and the fuel filter was changed together with the exchange of tested fuel. An average course obtained from closest 10 tests was recognized as the representative one for the tested fuel. The test results were obtained as the courses of angular acceleration versus engine speed. The registered courses of engine free acceleration are shown in Figs. 4 and 5.

Obtained results show that FAME fuel and POC fuel both worsens engine performances. This is typical for the most of alternative fuels.

Exhaust gas composition was measured by Technotest M-488 Multigas meter that enables the measurements of content of CO, CO2, HC and NOx in the exhaust. Obtained results are similar for all tested fuel mixtures [4].

Optical flow meter Olivier D60 was used for smokiness measurements. The results show that for both FAME fuel and POC fuel smoke level is significantly lower than the one for diesel fuel [4].

The procedure for preparing the fuel mixture

The presented idea is to prepare such a fuel mixture that does not change the basic physical parameters of the base fuel. If the specified amount of FAME biodiesel is added to the base fuel (DF), then you should also add the proper amount of POC fuel to address the changes in density of the mixture. The required amount of dopant can be calculated from mass balance, or estimated on the basis of the graph in Fig. 6.

For example: If 20% of biodiesel (FAME) is added to diesel fuel, it is an increase in density to a value:

$$y = 0{,}3336 \cdot 20 + 836{,}7 = 843{,}372 \quad (1)$$

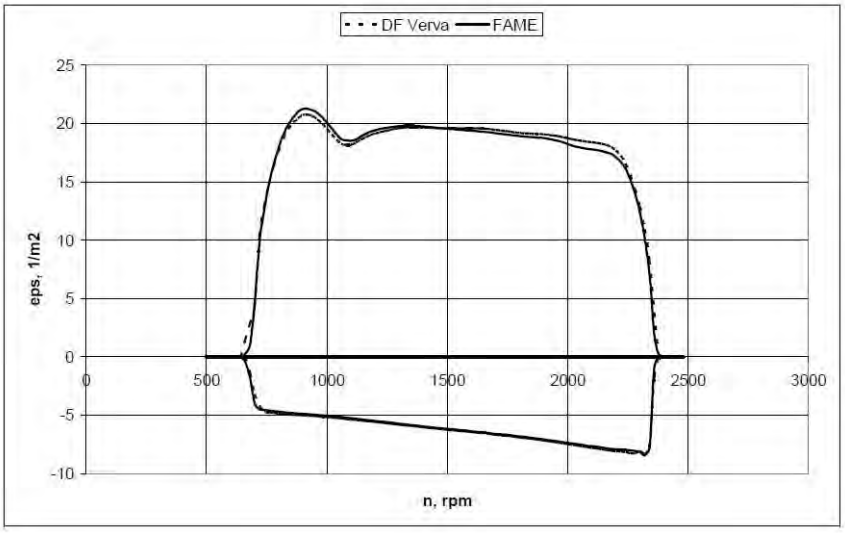


Fig. 4. Registered courses of crankshaft angular acceleration during free acceleration of S-4003 DI diesel for tested FAME fuel

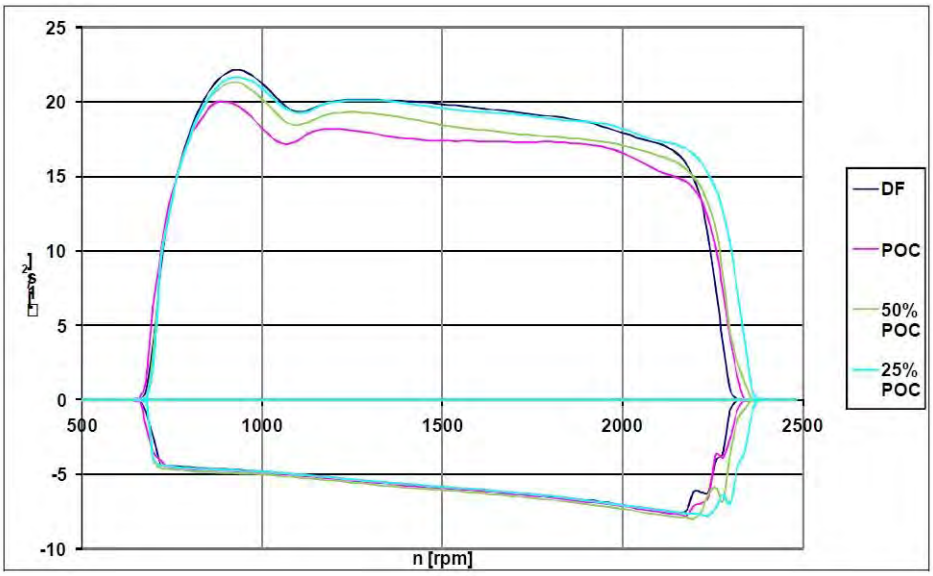


Fig. 5. Registered courses of crankshaft angular acceleration during free acceleration of S-4003 DI diesel for tested POC fuels.

Then the density difference will be:

$$\Delta y = 843{,}372 - 836{,}7 = 6{,}672 \tag{2}$$

Admixture of the necessary quantity of POC fuel is:

$$x = \frac{6.672}{0.2914} = 22.9 \tag{3}$$

Then 22,9% of POC fuel should be added to the mixture to obtain no change of mixture density and equal to Diesel fuel. In this way, you can use larger amounts of biodiesel and avoid the change of injection conditions, which may appear due to the higher density of the fuel. Changes in viscosity could also be reducted in a similar manner.

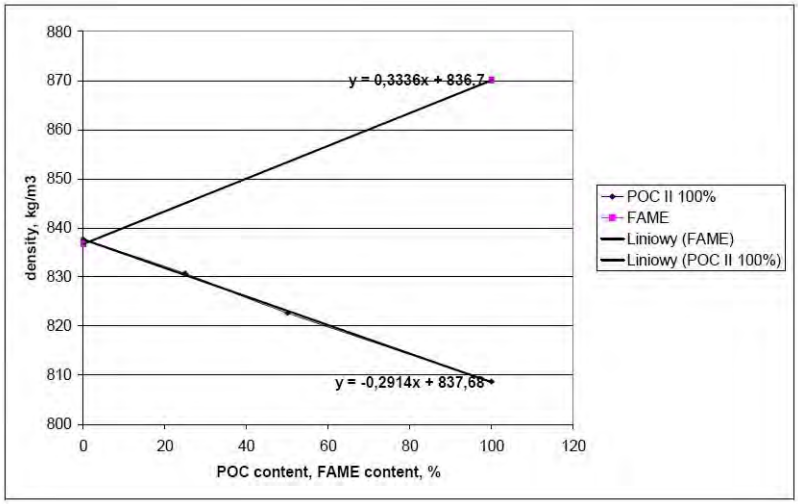


Fig. 6. Change of mixture density as a function of the change of concentrations of POC or FAME in the fuel mixture

FAME biofuel are characterized by some disadvantages as an amount of glycerine appears during the production. In conventional biodiesel production process the glycerin is generated as a by-product. In STING process [2] this by-product doesn't exist and productivity significantly increases (10-12%). The biodiesel fuel produced by the process named Simultaneous Reaction of Transesterification and Cracking (STING) is mainly composed of fatty acid methyl esters, diacylglycerol, and monoacylglycerol. The density of STING fuel is similar to FAME fuel and the viscosity is little higher [3].

Second example: If 20% of STING fuel is added to diesel fuel, it is an increase in density to a value:

$$y = 0{,}4332 \cdot 20 + 836{,}7 = 845{,}364 \tag{4}$$

then the density difference will be:

$$\Delta y = 845{,}364 - 836{,}7 = 8{,}664 \tag{5}$$

admixture of the necessary quantity of POC fuel is:

$$x = \frac{8.644}{0.2914} = 29.7 \tag{6}$$

Then 29,7% of POC fuel should be added to the mixture to obtain no change of mixture density and equal to Diesel fuel.

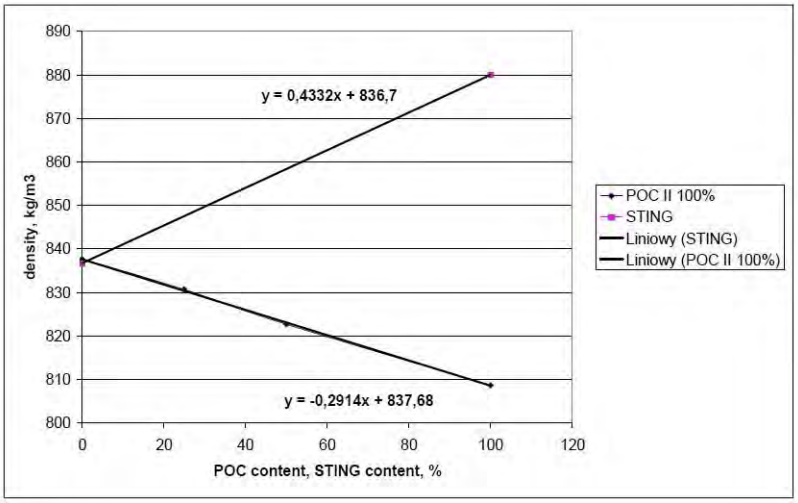


Fig. 7. Change of mixture density as a function of the change of concentrations of POC or STING in the fuel mixture

On the basis of mass balance the following relationship can be used to calculate the POC fuel volume:

$$V_{POC} = V_{BIO} \cdot \frac{\rho_{BIO} - \rho_{ON}}{\rho_{ON} - \rho_{POC}} \tag{4}$$

where: V_{BIO} - addition of biodiesel fuel in % volume base (diesel),
V_{POC} - addition of POC fuel in % volume base (diesel),
ρ_{ON} - oil density in kg/m3,
ρ_{bio} - biodiesel fuel density in kg/m3,
ρ_{POC} – POC fuel density in kg/m3.

However, the actual content of biodiesel in the mixture can be calculated as u_{BIO}:

$$u_{BIO} = \frac{V_{BIO}}{V_{ON} + V_{BIO} + V_{POC}} \cdot 100\% \tag{5}$$

In the example the actual concentration in the resulting mixture of biodiesel fuel would be 13.1%. Since the issue of fuel together form a true solution when mixed will result in a homogeneous liquid.

Another issue is the sustainability of such a mixture, but in literature you will find information that evaluates the stability of blended fuel at about 0.5 years.

Following the ideas presented, you can create compositions of diesel fuel additive bio-fuels while maintaining the level permitted by law, but the big advantage will be no change in the physical properties of the fuel, which could interfere with fuel injection.

The use of double admixture fuel mixture could yield in obtaining the eco-fuel with properties more closely to standard diesel fuel.

Conclusions

On the basis of its analysis can be stated that:

1. The concept of the fuel composition of the components of opposite physical properties can have a positive practical effect.
2. Through the use of multicomponent mixtures can be increased percentage of impurities in the fuel, which greatly enhance the ecological effect, understood both as a reduction of global warming and reducing pollution by waste.
3. Evaluation of the effectiveness of the presented concept also requires an experimental verification of the impact of such fuel on the durability of the motor fuel equipment, lubrication conditions and other aspects of the internal combustion engine.
4. It seems that the concept was also likely to affect the use of raw vegetable oils as motor fuel and the use of biofuel types with new physical or economical advantages.

References

[1] Baczewski K., Kałdoński M. *Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym*. 2004. WKŁ. Warszawa
[2] Iijima W., Kobayashi Y., Taniwaki K.: *Proces for Non-catalytically Producing Biodiesel Fuel Without Yielding by-Product*. US Patent No.: US 2006/0288636 A1
[3] Kiernicki Z.: Simulation Method of Operating Parameters Assessment Used for Engine Comparative Analysis. *Combustion Engines,* No. 1/2008 (132), p. 73-78.
[4] Kiernicki Z., Hys L., Sawa J. Chosen Properties of the Fuel Obtained from Polyolefin's Catalytic Cracking. *7th International Colloquium „ Fuels 2009"*, January 14-15, 2009, Esslingen – Stuttgart, pp. 227-234.
[5] Kiernicki Z., Hys L., Sawa J.: Some Properties of Sting Type Fuel in Comparison to Chosen Biofuels. *7th International Colloquium „Fuels 2009"*, January 14-15, 2009, Esslingen – Stuttgart, str. 219-226.
[6] Masuda T., Kuwahara H., Mukai S. R., Hashimoto K. Production of High Quality Gasoline from Waste Polyethylene Derived Heavy Oil over Ni-REY Catalyst in Steam Atmosphere. *Chemical Engineering Science* 54 (1999). 1999, pp. 2773-2779
[7] Walendziewski J., Steininger M. 2001, Thermal and Catalytic Conversion of Waste Polyolefin's. *Catalysis Today* 65 (2001), pp. 323–330
[8] Zieliński J. *The Effect of Advance Angle on the Operation of the Diesel Fuelled with POOC Fuel.* Master work. 2010, Lublin University of Technology, Lublin, pp. 126.
[9] www.kabex.pl

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 86. Volumen 4(1), 8 páginas

EL ESTADO DEL ARTE DE LOS ENGRANAJES EN BUENOS AIRES, ARGENTINA. CONFERENCIA MAGISTRAL

Javier Antezana López[1], Zeferino Damián Noriega[2], J. Pedro A. Puerta Huerta[2], Sergio A. Villanueva Pruneda[2], Romy Pérez Moreno[2].

Resumen

Esta investigación tiene como propósito enriquecer el conocimiento existente de los engranajes en Buenos Aires – Argentina, mediante la divulgación de distintas fuentes de información, orientada a nuevos alumnos, profesionales noveles y empresarios. Dicha investigación no puede ser enfocada solamente desde el punto de vista bibliográfico para conocer y sistematizar la producción científica en esta área de los mecanismos. Si no que será abordada desde otras fuentes de información, como ser: la vida profesional de ilustres personas que enriquecieron con su aporte de conocimiento y sabiduría, el desarrollo de este elemento de máquina, la superación de inconvenientes técnicos en el día a día de las maestranzas especializadas en su mecanizado y de la realización de las herramientas bajo estrictas normas de control que estos primeros usan. Esta revisión de distintas fuentes de información nos permitirá conocer, si hubo una política de crecimiento, de estancamiento o reducción en el diseño, fabricación y control de los engranajes en Buenos Aires a los largo de estos últimos años.

Palabras clave: Buenos Aires, Engranajes, Herramientas, Maestranza, Personas.

Summary

This research aims to enrich the existing knowledge of the gears in Buenos Aires - Argentina, through the dissemination of various information sources, aimed at new students, professionals and novice entrepreneurs. Such research cannot be approached only from the point of view to understand and systematize literature of scientific production in this area of the mechanisms. It will be also addressed from other sources, such as: the professional lives of famous people who enriched their contribution of knowledge and wisdom, the development of the machine element, overcoming technical problems on day to day in workshops specialized in machining and making tools under strict control these first uses. This review of various sources of information will allow us to know if there was a policy of growth, stagnation or reduction in the design, manufacture and testing of gears in Buenos Aires over the past years.

Keywords: Buenos Aires, Gears, Tools, Gear shop, People.

Introducción

Desde los distintos trabajos de investigación que realizamos respecto del diseño, mecanizado y control de engranajes en Argentina, debemos recurrir a una variada bibliografía y documentos individuales que dejaron nuestros mayores. Para ello buscamos en las bibliotecas públicas y privadas todo lo referente a este tema de investigación, analizando, organizando y finalmente clasificando nuestras fuentes de información.

A pesar del carácter de exposición lineal de estos sucesos, trataré de no emitir juicios asertivos o tomar posiciones taxativas frente a las realidades imperantes a través de estas décadas.

En una primera etapa realizaré una breve descripción del marco de desarrollo fabril histórico de Argentina, luego realizaré un detalle de las más grandes empresas que hicieron posible un desarrollo sostenible de la industria y finalmente describiré las empresas que actualmente hacen de la ingeniería del engranaje una realidad.

[1] Universidad Tecnológica Nacional UTN Facultad Regional Buenos Aires – Argentina, Medrano y Lavalle
E-mail: antezana@gmail.com
[2] Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Ciudad de México, México.
E-mail: zdn@correo.azc.uam.mx

Etapas de la Industrialización en Argentina

La determinación de las etapas de la actividad industrial argentina puede fecharse en distintas épocas desde los albores de los conquistadores españoles en nuestras tierras hasta el nacimiento de las grandes empresas como La Cantábrica, Vulcano, TAMET, SOMISA, etc. Por eso he preferido subdividirlo cronológicamente en etapas hasta nuestros días.[1]

Inicio de la actividad industrial (principio y fines del siglo XIX).

Los primeros pasos industriales en Argentina, a escala fueron surcados por los saladeros, los cuales procesaban y exportaban carne y cueros. Estos fueron instalados a partir de 1810 en Buenos Aires, Santa Fe y Entre Ríos. Los elementos y métodos de procesamiento eran simples y rudimentarios en sus comienzos.

Luego del año 1830 se producen reformas en los sistemas productivos de la mano de inmigrantes europeos, los cuales aportaban nuevos conocimientos técnicos a esta sociedad aldeana.

Los frigoríficos comenzaron a reemplazar a los saladeros y a exportar principalmente a Gran Bretaña. Pronto, un grupo de grandes empresas nacionales dominó todo el negocio frigorífico, siendo en su mayoría de capitales ingleses.

La ciudad de Buenos Aires se expandía y se convertía en una de las urbes más grandes del mundo, ofreciendo un mercado altamente tentador y demandando trabajo. Ambos fenómenos dan paso a una evolución productiva.

La red ferroviaria, conectada a los principales puertos, promovió el desarrollo de algunos polos del interior del país donde actuaban La Forestal (Santa Fé y el Chaco), los Ingenios Azucareros (Tucumán, Salta y Jujuy) y las Bodegas de vinos (Mendoza y San Juan). La campaña al desierto (1876), hacia el sur del país, aporta grandes superficies para el desarrollo agrario.

En 1889 se instala la primera planta textil (Alpargatas), en 1899, el señor Bemberg, fundó la Cervecería Quilmes. La instalación de esta planta impulsó a León Rigolleau, un fabricante de vidrio, a instalar una nueva fábrica cerca de su principal cliente, para proveerlo de botellas. En 1901 se fundó La Martona, dedicada a la elaboración de lácteos, dominando el mercado por varios años.

En el mismo año se formó la Molinos Río de la Planta, en puerto madero, con una gran capacidad de molienda para trigo cosechado en el país.

Primeras décadas del siglo XX.

En el rubro metalúrgico surgieron las empresas La Platense, Vulcano y La Cantábrica. Tamet (Taller Metalúrgico San Martín) nació como una sociedad de los establecimientos Otonnello y Vasena y siguió creciendo hasta convertirse en la mayor empresa metalúrgica de América del Sur en la década de 1920. La Cantábrica fue una gran empresa metalúrgica que inicio sus actividades el 12 de junio de 1902, continuando el trabajo que había comenzado la Fundición "El Carmen" con el primer tren laminador de acero instalado en el país en el año 1890.

En las primeras décadas del siglo XX surgieron algunos establecimientos de mayor dimensión en la Ciudad de Buenos Aires, a la par que se incrementaba la demanda proveniente de la construcción y del sector rural. Los principales eran Rezzonico, Otonello y Cía, La Acero Platense, Vulcano, Pedro Vasena e Hijos, Pedro Merlín e Hijos, Gibelli y Cía. En conjunto, estas pocas fábricas concentraban más de la mitad de la producción.

En 1911 aparece SIAM, con un joven inmigrante italiano, el Sr. Torcuato Di Tella, que tenía dieciocho años en ese momento. En esos días, en Buenos Aires hay una huelga de panaderos por las condiciones de trabajo y la ciudad exige que todas las panaderías pongan una máquina de amasar pan, para evitar los conflictos sindicales. De ese modo, el Estado crea un mercado. Di Tella comenzó a fabricar una máquina que tenía algunos detalles mejorados respecto a las que había disponibles en el mercado de importación y en sociedad con Guido Allegruci las vendió a un ritmo espectacular.

En la década del 20, ocurre un segundo fenómeno importantísimo. El general Mosconi asume la presidencia de YPF, dándole impulso a la empresa petrolera estatal y comienza a instalar estaciones de servicio. Di Tella, que era amigo de Mosconi, le ofrece fabricar los surtidores (1926) y el general acepta porque le interesa sostener la fabricación nacional. Más tarde Di Tella va a fabricar equipos de bombeo (con engranajes Bihelicoidales) para YPF, bajo la dirección del Ing. Pablo Tedechi. Al terminar la década del 20, en una Argentina básicamente agroexportadora, donde prácticamente toda la industria se importaba, tenemos una empresa metalmecánica, de tecnología relativamente avanzada para su época, que estaba creciendo de manera sistemática, apoyada en las compras del sector público. El Gral Moscóni se preocupó por la consolidación técnica de YPF, incorporando profesionales de la Facultad de Ingeniería de Buenos Aires y de otros programas de formación a distintos niveles. Su interés exhibió el primer intento de forjar una gerencia

tecnocrática en el país, cuyos resultados se vieron con el constante crecimiento de la empresa durante esos años y la disminución de sus costos.

1930 – 2da Guerra Mundial

Las fábricas en la Argentina en esos años correspondían a emprendimientos artesanales proveedores del mercado interno con un neto predominio de la industria liviana: panaderías, fábricas de fideos, jabones, licores y cervezas.

A partir de 1929 se desencadena una profunda crisis en el sistema capitalista internacional, que se manifiesta entre otras características, en el alza del valor de los productos industrializados y en la disminución del precio las materias primas. Todos estos factores externos hacen que la vida económica que gira en torno a la agro exportación llega a su límite en nuestro país.

A comienzos de la década del 30, los tranvías de San Pablo portaban un cartel afirmando que la ciudad era "el mayor centro industrial de América Latina". Era una exageración pero anticipaba la realidad. La industria de Buenos Aires era más poderosa y estaba basada en empresas muy grandes. A fines de la década del 20, la industria cervecera Argentina era mayor a la Brasilera. El consumo local compensaba con creces las diferencias de población. Buenos Aires era todavía el mayor centro fabril del continente. La masiva presencia de fábricas no las convirtió en parteras de un nuevo orden industrial; ellas se acomodaron a la rutina de la riqueza fácil en el mercado interno.

El Censo Industrial efectuado en el año 1935 constituye el primer relevamiento específico que se efectúa en el país y por lo tanto representa un registro valiosísimo de la actividad fabril. En este revela el neto predominio de la producción liviana; prueba de ello es el alto porcentaje de establecimientos dedicados al rubro sustancias alimenticias, bebidas y tabaco, que representan más del 28% del total de las empresas instaladas.

En estos años poco a poco otro factor se añade al sector productivo y es el Ejército que tiene apoyo de los industriales que deciden que esta fuerza debe acompañar al desarrollo fabril.

En Junio de 1943 estalla la revolución de "los coroneles", y en este grupo toma vital importancia el Coronel Juan D. Perón. Esta gestión militar, aspira a alcanzar la ansiada soberanía económica poniendo en práctica medidas de consolidación del mercado interno. Este período desde 1943 hasta 1955 puede ser considerado como de liderazgo estatal y en él la actividad Industrial constituye el sector predominante y destinatario de una variada gama de resoluciones gubernamentales.

Una de las consecuencias más sorprendentes de la Segunda Guerra fue la expansión vertiginosa de las exportaciones industriales Argentinas. Las ventas pasaron del 5% en 1940 al 19% al 1945, se destacaron las ramas textiles, químicas y alimenticias.

La presión de Washington por incorporar al país a la guerra contra el eje, los conflictos de intereses en temas de comercio e inversión, los problemas cruzados con Gran Bretaña y ciertas posiciones antinorteamericanas en Argentina, generaron un choque cuya intensidad fue en aumento durante los años siguientes.

Washington prohibió el envío de diversos productos a Argentina: equipos de extracción petrolera (que afectó a YPF y la producción local), locomotoras, artículos de acero, armas, combustibles y otros productos.

Preocupados por el surgimiento de una potencia no confiable en el continente, decidieron que era esencial no permitir la expansión de una industria pesada Argentina.

El costo que los Estados Unidos hicieron pagar a la Argentina por este conflicto resulta difícil de precisar a pesar de su magnitud. El país se vio obligado a producir en las peores condiciones de contexto, falta de energía, de insumos básicos y de equipos modernos.

Las instituciones de la posguerra

En 1944 se creó el Banco de Crédito Industrial para otorgar créditos de mediano y largo plazo al sector fabril. Mediante este banco se apoyó el crecimiento de ACINDAR, Siderca y VASALLI.

En 1946 se crea el Instituto Argentino para la promoción del Intercambio (IAPI), para manejar buena parte del comercio exterior nacional. Vendía carne y cereales, y compraba diversos materiales en el extranjero. La amplitud de esos objetivos, mezclada con avatares políticos, prácticas de intercambio bilateral y presiones de grupos de interés, llevó a resultados poco felices en el largo plazo. Subsidió a molinos harineros, refinerías de aceites y plantas de quebracho que eran sectores envejecidos y tradicionales, como así también dió aumentos de sueldos en los ferrocarriles, en vez de abocarse a proveer de equipos a la primera planta siderúrgica Argentina (SOMISA).

En el año 1956 se creó el INTI y el INTA para apoyar el área industrial y el área agropecuaria, y la Comisión Nacional de Energía Atómica que se convirtió en uno de los organismos más activos en la evolución técnica de la industria Argentina del sesenta, setenta y actuales.

En esos años de la década de los 50, junto con la compra de los ferrocarriles también se produce la adquisición de teléfonos, puertos, electricidad y otros servicios.

El Estado crea la DINIE (Dirección Nacional de Industrias del Estado), una especie de holding público que tomó a cargo todas las filiales alemanas confiscadas luego de la guerra. Bajo su control había empresas constructoras, plantas eléctricas, mecánicas y laboratorios farmacéuticos. En las empresas creadas por el estado figuran: Agua y Energía, Gas del Estado y Techint.
Fabricaciones Militares desarrollaron las fábricas que había comenzado a instalar durante la guerra e inició una serie de empresas mixtas en diversos ramos. Encaminó la exploración de los recursos mineros y del territorio argentino.

En las empresas creadas figuran Atanor (química), Somisa (planta siderúrgica integrada), industria petroquímica en Zárate y la remodelación de la antigua fábrica de aviones de Córdoba.

Desarrollo de la Industria del engranaje

Muchos factores han sido analizados; desde la participación y dependencia extranjera, políticas de desarrollo nacionales, cambios de gobierno, hasta privatizaciones y efectos de la globalización, resaltando la falta de experiencia e interés en la actividad por parte de algunos gobiernos de turno y de la alta sociedad, que no supieron ver a tiempo a la industria como fuente de desarrollo y riqueza.

A partir de estos condicionamientos históricos apuntados anteriormente, el desarrollo de la tecnología de la fundición y el mecanizado de los engranajes en la Argentina dio sus primeros comienzos.
En función de la síntesis histórica arriba efectuada, del marco de información que se investigó y de las entrevistas que se realizaron, se puede enumerar las cuatros grandes fuentes de este estudio.

1. Profesionales idóneos en engranajes.

En esta etapa he querido incluir a las diferentes personas que con sus Conocimientos y Creatividad, generaron un desarrollo sobresaliente en el diseño, cálculo y mecanizado de los engranajes. Esto no es casual ni circunstancial; si existe un rasgo sobresaliente en este grupo fue que muchos de ellos fueron autodidactas y otros de las Universidad estatales. Empezaré por mi maestro:

Sr. Emilio Blanco Janeiro

Don Emilio, como lo llamábamos todos, nos dejó hace unos diez años y fue una de esas personas que no necesitaron entrar a la Facultad para conocer todo lo que sabía. Autodidacta desde siempre, fue el diseñador experto del Herramental de Chrysler, cuando esta firma decide hacer la caja de cambios del Valiant 4 en Argentina. Hablaba varios idiomas, todos aprendidos por su necesidad de lectura de bibliografía de engranajes, el francés por Henrriot y Capelle (IET), el inglés por Buckingham, Dudley y Vogel y el alemán por haber trabajado varios años para Mercedes Benz, incluyendo la lectura de Maag - Winter y sugerirnos a todos la inclusión de las normas DIN como base para cualquier desarrollo en engranajes. Fue un de los mentores para la creación del Instituto Argentino del Engranaje, institución ya cerrada que en su momento fué artífice de varias normas y cursos para engranajes debido a la gran cantidad de socios a nivel personal y corporativo que tuvo en la década del ´80. Fue otro recolector de Bibliografía básica que todos le pedíamos prestados sus libros originales (Thomas, Charchut, Klingelberg, Merrit, Trier, Hurth, etc)

Fue un gran conocedor del funcionamiento de las creadoras y a él le debo esa afición de conocer: historia, funcionamiento y procedencia de cada una de las máquinas que vemos delante de nosotros en las maestranzas. Pero su gran pasión fue el diseño de herramental como Creadores (Gear Hob cutter), Cortantes (Gear Shapeer cutter) y afeitadores (Gear shaving cutter). Fue la persona que diseño el herramental Novicov para una gran firma Argentina, (para re potenciar los engranajes de los reductores de los equipos de bombeo de SIAM debido a una licitación de YPF) y el que poco antes de dejarnos diseñó el herramental para los tornillos de bolas recirculantes para otra firma.

Ing. José Luis Piña

Egresa en 1974 de la UBA y a los pocos años comienza a trabajar en Disemec S.A, empresa del Grupo Tecnon, pertenecientes a los Ings.Dubinsky y Santos que eran Profesores de la cátedra de Proyectos de Máquinas y donde el Ing. Pablo Tedecchi (Ex director de SIAM Electromecánica) era el Profesor Titular de la materia.

Luego con un socio (compañero de la facultad) forman su propia empresa llamada Matermec. Fue su presidente hasta agosto de 1995, cuando se hizo la escisión de la empresa. El grupo de ingeniería mecánica creó el Estudio que actualmente lleva su nombre, y su ex socio sigue conservando ese nombre y esa actividad.

Actualmente se desempeña como Director General del ESTUDIO PIÑA. Posee dedicación exclusiva a la Asistencia Técnica en Transmisiones Mecánicas para Servicios de Cálculo y Proyecto, Reingeniería de Partes y Conjuntos, Diagnósticos, Pericias Técnicas, Controles y Reparaciones "in situ". Su estudio es uno de los pocos que a nivel sudamericano se dedica casi con exclusividad a resolver estos problemas en muchas empresas del sector cementero, químico, caucho, metalúrgico, etc. El estudio es miembro de AGMA y partícipe del comité ISO TC 60 sobre engranajes.

El estudio cuenta con un extenso plantel de profesionales especializados en distintos temas de ingeniería de cálculo, campo y de software especializado (representante de Kissoft). Asimismo en la ciudad donde se encuentra, Bahía Blanca, varios tesistas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur contaron con su dirección de Tesis Doctoral en Ingeniería.

Sr. José Schafer

Personaje histórico de gran conocimiento sobre el mecanizado de engranajes. Autodidacta como otros que hicieron del mecanizado de cónicos y engranajes especiales una vida de misterio y reparaciones como pocos. Cuentan muchos que lo conocieron que fue un gran conocedor de las máquinas Gleason para cónicos rectos y que una vez desarmó una de ellas en el piso de su fábrica y que luego de dos días de verla y estudiarla desarmada, la volvió a armar para hacer cónicos espirales y en ese entonces la gran firma norteamericana no había sacado el modelo nuevo para hacer estos engranaje. Lo único que todos recuerdan era que por su descendencia alemana tenía un carácter dominante y casi nadie entraba a ver sus máquinas pero que muchos hacían fila para que les reparase sus reductores o engranajes. Él fue el que acuñó ese dicho tan mencionado por varios de los que estamos en este ámbito del mecanizado de engranajes *Yo hago engranajes, los demás hacen canaletas.*

Sr. Jesús Albor

Gallego de origen pero un gran conocedor de la bibliografía Italiana que fue la que utilizó para desasnar el funcionamiento de sus máquinas creadoras. En épocas que casi todos hacían engranajes por medio de las fresas de módulos, él ya tenía creadoras italianas que trabajaban con fresa madres. Colaboró con el aprendizaje de este bello oficio de varios dueños que hoy tienen fábricas de engranajes o reductores de velocidad. Era normal verlo al gallego, como le decían afectuosamente, hacer los cálculos con tiza en el piso del taller cuando todavía no había calculadoras y apenas tablas y gráficos de senos, cosenos y logaritmos. El *Casillas, Gazzaniga* y el libro de herramientas de *Samputensili* eran sus libros de cabecera. Hoy sigue su yerno con ese taller histórico y escuela de muchos.

2. Profesores Universitarios

Es muy importante el aporte que varios de nuestros profesores dieron a los diferentes problemas que se plantearon en la industria del engranaje y también contribuyeron con sus exposiciones al aporte de conocimiento en las distintas áreas del campo teórico de los mismos.

Ellos fueron los que nos alentaron a varios de nosotros a seguir ese camino por ellos emprendido del estudio, análisis, reflexión y la divulgación de estos temas fuera del ámbito académico y acercarlos a todos aquellos que necesitaban conocer y aprender este oficio para su desarrollo profesional.

El más destacado y laureado por muchas instituciones nacionales y extranjeras es, sin lugar dudas:

Ing. Eitel E. Lauria

Nació el 19/11/1924. Ingeniero Civil (UBA, 1949) con Diploma de Honor. Fue Profesor Titular y Consulto de la FIUBA y Titular en la Escuela Superior Técnica del Ejército. Director del Centro de Cálculo (1967-73) y del Departamento de Informática (1985) de la UTN FRBA. Presidente y Fundador del Instituto Argentino del Engranaje (1987-89). Creador de la carrera de Análisis de Sistemas en la UTN FRBA. Tuvo una intervención activa en la creación y elaboración del plan de estudios de la carrera de Ingeniería en Informática en el ITBA. Entre los numerosos trabajos presentados en el área Mecánica se destacan: *Mecánica Analítica de los Engranajes Helicoidales entre Ejes alabeados,* el cuál fue publicado en el Boletín Nro57 del IET de Francia en 1969. También el trabajo*: Velocidades de deslizamiento, acceso y receso en engranajes helicoidales entre ejes alabeados,* publicado en el Boletín Nro 66 del IET.

Es el único argentino expositor en dos congresos mundiales de engranajes, para el 2do y 3er Congreso de Engranajes y Transmisiones, organizado por I'Institut de I'Engranage et les Transmissions de Francia: *Presión superficial de los Engranajes Cilíndricos de dentado helicoidal (París marzo 1986) Geometría Analítica de los engranajes helicoidales entre ejes paralelos (trabajo publicado por la IET Francia en su boletín 113, mayo 1997).* Otro trabajo muy importante fue *Solución numérica del cojinete cilíndrico hidrodinámicamente lubricado con cargas alternadas seudo-impulsivas* para el Simposio Panamericano de

Matemática Aplicada, 1968. Miembro de la Academia Nacional de Ingeniería y de la Sociedad Científica Argentina. Publicó numerosos trabajos, entre ellos los libros: *La ingeniería argentina en los últimos años del Siglo XX, Creatividad, Ciencia y Tecnología (2007).* Hoy el Ing. Lauría está abocado a escribir artículos de Divulgación Científica y Tecnológica mediante conferencias e invitado a diferentes paneles de congresos.

Ing. Milutin Zuvela

Nació el 1/11/1937 en Croacia, Yugoslavia, Ingeniero Mecánico UTN FRBA. Fue Profesor de Cálculo y Proyecto de Máquinas e instalaciones Auxiliares por varios años en esta Universidad. Dentro de su trabajo de investigación elaboró un programa (1973) en Fortran 4 para *Cálculo de ruedas dentadas con perfiles a evolvente* en el Centro de Cálculo de dicha Universidad siendo el primero que elaboró un programa para engranajes en función de su geometría básica, según DIN.

En su vida profesional trabajó muchos años en la empresa Demag Mannesmann Ltda en Brasil y Argentina aportando soluciones innovadoras a las complejas transmisiones que hacían esta empresa. Su especialidad lo lleva a desarrollar proyectos en reductores de velocidad para puentes grúa y otras máquinas de elevación y transporte. Debido a estos trabajos se especializó en el cálculo de la geometría del engranaje y su capacidad de transmisión en reductores planetarios (su gran pasión) aportando varios trabajos a nivel consultoría. Luego trabajó para la empresa *Lohmann und Stolterfoht* desarrollando toda una línea de reductores a engranajes paralelos que todavía se encuentra vigente como producto de serie de esta empresa alemana. Actualmente sigue desarrollando contenidos con mecanismos con varios grados de libertad y momentos torsores de distintos sistemas indeterminados. Según sus propias palabras, por su rigidez del estudio y su conocimiento acabado de los temas que le tocaba intervenir fue un profesional no comprendido dentro del área de los estudios de ingeniería. Para ello hoy tiene un sitio en Internet www.engranajeszgr.com.ar donde podemos hacerle consultas.

Ing. Horacio Dubinsky

Junto al Ing. Santos, deciden asociarse y en los primeros años de la década de 1960 fundan una de las más grandes empresas del rubro de transmisiones mecánicas llamada *TECNON.* Durante décadas fue la artífice de varias realizaciones de reductores de velocidad, fue la primera en traer desde el exterior una creadora especialmente dedicada a realizar los acoplamientos con dentado navecilla para uso en los trenes laminadores de las acerías nacientes en Argentina. Luego se incorporan los señores Cambiaso y Mohoianidis los cuales hacen de esta empresa una escuela de negocios en distintas áreas, en esa época que se necesitaban soluciones nacionales a los problemas nacionales.

El Ing. Santos ya nos dejó y el Ing. Dubinsky (Profesores de la cátedra de Proyectos de Máquina, luego de la ida del Ing. Pablo Tedeschi) sigue como socio honorario de la actual empresa *Tecnon Group*, donde su hijo y su sobrino están a cargo con trabajos y oficinas en distintos países. www.tecnongroup.com.ar

3. Empresas fabricantes de engranajes.

Dentro de las empresas fabricantes de engranajes podemos contar desde Tamet, que hacía los primeros engranajes fundidos en su planta de la Av.Boch , pasando por SIAM que a través de la dirección del Ing. Pablo Tedechi (especialmente traído desde Italia por el Ing. Torcuato Di Tella) generó los primeros reductores de velocidad en serie en argentina. A este último le debemos el gran libro sobre *Proyecto de Máquinas*

Fabbro Hnos SAIC

La empresa inicia sus actividades en 1958 fabricando repuestos para la industria textil debido a que en su zona de ubicación se encontraban dos grandes textiles en la década del 60 y 70 que luego fueron cerrando.

El Sr. Jesús Albor colabora con ellos en la fabricación de los primeros engranajes en su taller, luego del cuál la firma se independiza y debido a sus contactos con empresas proveedoras de servicios a terceros comienza la fabricación en serie de Reductores de velocidad a sin fin y corona, actividad que todavía desarrolla.

Actualmente cuenta con un plantel de 2 creadoras *TOS* (OF 10 y OF 16), *Fellows*, otra dentadora de interiores marca *Nestor*, una creadora *Traversa Pestorino* hasta módulo 10 y 3 credoras nacionales *Conminos* de hasta módulo 7. Dentro de sus máquinas tiene 2 creadoras sin fineras, para construir de hasta 3 m de longitud de eje acanalado según perfil estándar o bajo plano.

Su actividad principal actual radica en la fabricación estándar de reductores de velocidad a engranajes cilíndricos, cónicos y a sin fin y corona con 40 modelos diferentes. Fabricación de acoplamientos con 4 modelos diferentes. www.fabbrohnos.com

Mercomarve SACI y F

Los hermanos Ricardo y Roberto Maríncola fundan la empresa el 18 de abril de 1948 en pleno desarrollo de la industria argentina al amparo de las distintas promociones que hacía el estado para promocionar la industria local. Luego de varios años de arduo trabajo y compitiendo con muchas marcas importadas la empresa en este momento es una de las más completas fabricantes de Reductores de Velocidad y Acoplamientos por tener todo el proceso de producción dentro de su área fabril conformada sobre casi 5100 m2 de superficie.

Dicha empresa cuenta con un destacado plantel de profesionales que a lo largo de todos estos años ya son aproximadamente unas 50 personas y como dice Roberto Maríncola *la mayoría son grandes amigos* y *parientes*. Dentro de esta destacada cualidad es que los nietos ya forman la parte directiva de la empresa *y se hicieron como todos sus empleados…desde abajo*. Ellos poseen los sectores: modelista (carpintero ebanista), fundición propia de hierro nodular, bronce y aluminio. También cuenta con las áreas de de mecanizado, rectificado, tratamiento térmico, armado y sala de control. Desde sus inicios poseen varias creadoras de engranajes y todo su herramental para su completo mecanizado: 2 *Pfauter*, 3 *Conminos* y una *Tos OF12* (sistema fresa tornillo), talladoras, mecanizado de dientes por medio de peines, (rack cutters); 2 *Maag* y una *Sunderland* (sistema bihelicoidal de peine cremallera) y una sin finera *Hecker*. Varias rectificadoras (6) Niles*, Maag* y *Klingelnberg* tanto para engranajes cilíndricos exteriores como para sin fines. Asimismo tienen el área de tratamientos térmicos de temple superficial para los sin fines y baño de cementación para los engranajes.

Podemos afirmar, que es la empresa argentina más importante dentro de los fabricantes de reductores de velocidad en serie, debido a la completa realización de todos los procesos de manufactura de sus productos con muy buen nivel de calidad, partiendo desde la fundición hasta el asesoramiento posventa y de mantenimiento. Ver www.mercomarve.com.ar

Para todo contacto técnico consultar con el Sr. Jorge Trefilio jtrefilio@mercomarve.com.ar

4. Fabricantes de Herramientas para su mecanizado.

No podemos dejar de nombrar a las empresas que hacen posible que los fabricantes de engranajes puedan hacerlo de acuerdo a las herramientas normalizadas que necesitan sus máquinas creadoras, dentadoras, sin fineras, etc. Entre las históricas podemos contar con

El Faro

Fundada por del Sr.Antonio Smith el cuál funda su empresa en Junio de 1946 y cierra la misma en junio de 1965. La primera empresa en mecanizar creadores por medio de los tornos destalonadores italianos y que en esos primeros años no se rectificaban. Empresa de la que luego salieron don Enzo Valenti y Helber Schneider actuales dueños de las pocas empresas de creadores de engranajes que hay en Buenos Aires.

Bianco S.A

El Ingegnere Emilio Bianco funda esta empresa como prolongación de la anterior *Fábrica Argentina de Herramientas de Precisión* en el año 1959. Afirman aquellos profesionales que aún trabajan en esta área, que Bianco era un artífice de las herramientas como creadores, fresas de módulo y brochas. Fue el único que editó un libro de herramientas de fresar en forma original para una editorial argentina, pero en italiano. Ante la consulta de porqué no lo había hecho en español, contestó: Porque *yo lo pensé en italiano mi idioma familiar.*

Actualmente la empresa sigue sus caminos, ya abocada a la venta y representación de otros instrumentos de medición y control. www.biancosa.com.ar

Fabherco S.R.L

Don Enzo Valenti con otros socios fundan el 31/1/1958 la *Fábrica de Herramientas de C*orte en el barrio de Flores de Buenos Aires. Dos de ellos antiguos trabajadores del *Faro* y los otros dos eran vendedores de herramientas que iban taller por taller ofreciendo sus productos. Actividad que todavía se hace, ya que varios de ellos conformaron pequeñas empresas para reafilado de las herramientas. A partir de la década del 60 la empresa va posicionándose como la que es actualmente, la más grande empresa fabricante de herramientas de corte argentina para engranajes en lo que se refiere a Creadores, cuchillas para mecanizado de engranajes cónicos, brochas y peines *Maag*. Actualmente cuenta con oficinas en Brasil y varias ciudades de Argentina. Entre sus máquinas podemos describir a varios tornos a CNC, 2 rectificadoras a CNC para creadores, 2 mesas de medir marca *Klingelnberg* y *Mahr*. Una máquina para medir paso y perfil evolvente con diagrama y 3 proyectores de perfil de 800, 700 y 600 mm de pantalla efectiva. Un detalle de su envergadura y calidad es

ser una de las dos empresas argentinas que hacen calidad AAA para sus productos. Desde hace varios años se encuentra el Sr. Walter Valenti, hijo de Enzo, entre sus directores de la empresa. www.fabherco.com.ar

Conclusiones

Como se indicó en la Introducción, pretendí dar un repaso histórico al nacimiento de las más importantes empresas argentinas del área metalmecánica y a través de ellas vincular el nacimiento de las empresas y los profesionales argentinos que desarrollaron sus actividad en el mecanizado del engranaje y la fabricación de sus herramientas y control.

Hoy la gran mayoría de estas empresas cuentan entre sus filas directivas a sus hijos o nietos para seguir generando avances en nuevas optimizaciones de producción y en normas de calidad según ISO. Esto no es un dato menor ya que a varias ya no las contamos entre nosotros, por haber tenido ese gran problema de la no descendencia familiar entre sus directores o por no haber tenido esa visión de futuro de los mismos.

Según toda esta investigación surge otro importante logro de este desarrollo fabril y es que muchos de ellos se realizaron con gran esfuerzo personal y dedicación de parte de sus dueños originales, pero también se observó que los mejores años de crecimiento fueron cuando el gobierno de turno favoreció a la industria local, no con medidas de puertas cerradas a las importaciones, sino no aplicándoles recargos por exportaciones o aumentándoles impuestos desmedidos a sus materias primas.

En cuanto a estos ilustres profesionales del área pueden estar tranquilos que somos varios los docentes que seguimos sus caminos marcados de estudio y divulgación para que no se pierda esa impronta de aprendizaje. www.fodami.com.ar

Reconocimientos

Quiero agradecer muy especialmente al Dr. Zeferino Damian Noriega por su invitación y colaboración; al Ing. Romy Perez Moreno por sus enseñanzas y a todos los colegas de la UAM Unidad Azcapotzalco.

Finalmente me surge este comentario final:
A los Engranajes, los siento:
Como resumen de geometría y diseño: *Una pasión.*
Como problemática de mecanizado y control: *Un desafío*.
Como obligación de su divulgación a nuestros alumnos y operarios: *Una Bendición*.
Muchas Gracias por su atención.

REFERENCIAS

[1] Villanueva Roberto .A. *Historia de la Siderurgia Argentina*. Edición. 1era Año 2008. Editorial. Buenos Aires Eudeba (256 páginas).
[2] Lauria Eitel.H, *Creatividad ciencia y tecnología.* Edición 1era. 2008. Editorial Dunken, Buenos Aires (256 páginas)
[3] **Entrevistas:** Sr. Roberto Fabbro, Sr. Roberto Maríncola, Sr. Enzo Valenti, Sr. J.Cambiaso e Ing. E. Lauria.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 6. Volumen 4(1), 7 páginas.

MANUFACTURA DE UN MODELO ARQUITECTÓNICO DE ALUMINIO

Noé López Perrusquia[1], Marco Antonio Doñu-Ruíz[1], Víctor Jorge Cortez Suarez[2], Iván Hernández Castro[3], Luis Omar Muratalla Arreola[3], Alejandra Camarillo Villegas[3]

Resumen

El presente artículo surge a partir de una oportunidad de generar un nuevo modelo arquitectónico y de bajo costo en la empresa Muebles Arquitectónicos de Aluminio, con el fin de obtener piezas resistentes al medio ambiente, nuevos diseños, incremento en productividad; Por otro lado se realiza en forma general el Diseño y la Manufactura de una banca arquitectónica por el proceso de fundición convencional. Para la obtención del producto se utilizo la Manufactura Convencional como la fundición en moldeo en verde, soldadura y dibujo asistido por computadora (AUTOCAD) así mismo se determino dureza HRF. Finalmente el desarrollo de un nuevo prototipo en esta microempresa da una nueva visión de la Manufactura Convencional - Economía en la microempresa.

Palabras Cables: Aluminio, Manufactura Convencional, Diseño Mecánico

Summary

This article arises from an opportunity to create a new architectural model and low-cost company Furniture Architectural Aluminum, in order to obtain environmentally resistant parts, new designs, increased productivity, and on the other hand generally takes place in the design and manufacture of architectural banking by conventional casting process. To obtain the product was used as the conventional manufacturing foundry green molding, welding and computer-aided design (AUTOCAD) and HRF hardness was also determined. Finally, the development of a new prototype in this micro gives a new view of the conventional manufacturing - Economy in the microenterprises.

Keywords: Aluminum, Manufacturing Conventional, Mechanical Design

Introducción

El diseño de nuevos productos es crucial para la supervivencia de la mayoría de las empresas y los fabricantes de piezas manufacturadas. En la actualidad aumento de la interés en la producción de piezas arquitectónicas mas ligeras se ha traducido en un aumento de la tendencia en la utilización de aleaciones de aluminio; el uso de aluminio va en aumentó en más del 80% en aplicaciones de piezas industriales [9]. Aunque existan algunas firmas que experimentan muy pocos cambios en sus productos, la mayoría de las compañías deben revisarlos en manera continua. [1] En las industrias que cambian con rapidez, la introducción de nuevos productos es una forma de vida y se han desarrollado enfoques muy sofisticados para presentar nuevos productos. Los costos de manufactura, como así también los correspondientes a garantías y reparaciones se ven afectados en gran medida por el diseño del producto. [2-3]. Así pues, se encontró que en General Electric el 75% de sus costos de manufactura los determinaba el diseño, detectándose en otras empresas proporciones similares.

Las decisiones tomadas durante el diseño constituyen la influencia dominante sobre los costes del producto, la habilidad de cumplir con las especificaciones y el tiempo requerido para llevar un nuevo producto al mercado.

[1] Instituto Politécnico Nacional, Zacatenco. México. D.F. 07738. México. E-mails: nlopezp0803@ipn.mx, mdonur0800@ipn.mx
[2] Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. Av. San Pablo 180, México .D.F. E-mail: vjcs@correo.azc.uam.mx
[3] Universidad Politécnica del Valle de México, Av. Universidad Politécnica, Edo. Mex. 54910. E-mails: ivan_upvm@hotmail.com, omar_upvm@hotmail.com, alecvupvm@hotmail.com

Una vez tomadas estas decisiones, el coste de los cambios en el diseño puede ser enorme. Importantes mejoras se registran en materia de costes y calidad, como resultado de la simplificación del diseño, pues la misma hace más sencillas las labores de manufactura y ensamble. Al reducirse el número de partes, se reduce los costes de materiales, disminuyendo al mismo tiempo las existencias, el número de proveedores, y acortando el tiempo de producción. El diseño se debe coordinar con la manufactura para producir artículos de calidad consistente, con desperdicio mínimo. Simples detalles de diseño pueden alterar superlativamente los niveles de inversión necesarios para su fabricación. [4-5]. Los efectos del diseño sobre los costes de producción son los que a continuación se muestran, siendo los mismos los resultantes de diversos estudios efectuados en empresas de Estados Unidos y Europa. Coste del producto Porcentaje respectivo Efecto sobre la producción Porcentaje respectivo Diseño 5% Diseño 70% Materiales 50% Materiales 20% Mano de Obra 15% Mano de Obra 5% Gastos Generales 30% Gastos Generales 5% Un diseño de categoría mundial se consigue mediante el desarrollo del producto integrado, que combina las necesidades y la experiencia de todos los implicados [10].

El costo del producto final es un asunto que debe aceptar el departamento diseño y a través del ahorro del peso son un factor tan importante para la productividad de los productos terminados [7]. El desarrollo de nuevos productos tiene un gran impacto en la función de operaciones, debido a que cualquier producto nuevo que se diseñe debe producirlo operaciones. Pudiendo las operaciones existentes llegar a limitar el desarrollo de nuevos productos. Las decisiones sobre productos son un prerrequisito para la producción; Debiendo dársele a operaciones las especificaciones del producto antes de poder iniciar la producción y antes de que operaciones pueda tomar algunas decisiones importantes. Decisiones operativas tales como el diseño del proceso, no deben esperar hasta que se terminen las especificaciones del producto, pues las mismas deben hacerse al mismo tiempo en que se diseña el producto [6]. Asimismo se necesitan modelos innovadores de aluminio para incrementar la productividad en las pequeñas empresas; además de dar soluciones a los problemas industriales con el enfoque del mercado [8-11]. El objetivo de este trabajo es la fabricación de un producto arquitectónico por diseño y manufactura convencional.

Desarrollo experimental

La manufactura de las piezas industriales se dividió en cuatro etapas: en la primera, se realizó el diseño por medio de un software (*Solids Works*) de dibujo mecánico para establecer las dimensiones óptimas de la banca para tres personas; posteriormente en la segunda etapa se diseñó el modelo perdido (unicel), y se preparó la fusión del metal y el molde en verde. La tercera etapa fue la soldadura de las piezas fundidas con de soldadura eléctrica. Finalmente, la cuarta es determinar la dureza de la pieza arquitectónica.

Técnica de dibujo

El desarrollo de nuevas piezas arquitectónicas en la microempresa *Muebles Arquitectónicos de Aluminio* es la primera instancia para elaborar el diseño del nuevo producto (banca de jardín) con el software AUTOCAD, observando cuáles eran las ventajas y desventajas de cada pieza de ensamble, además del tipo de acabado, como las tolerancias dimensionales. Analizando y aplicando los conceptos de diseño de moldes, se obtiene la forma final de la banca para tres personas, como se presenta en la Fig. 1.

Técnica del modelo perdido.

Por otra parte, se realizarán modelos de unicel conforme al diseño, obtenido con las tolerancias geométricas establecidas (Fig. 1): Por otro lado la fundición de aluminio con molde perdido es un proceso de fabricación tecnológicamente maduro, obteniéndose con él una amplia diversidad de piezas con excelente calidad dimensional (tolerancias lineales de ± 0,3 %) y unas características mecánicas razonables. Se recurrir a Poliestireno Expandido para los modelos; porque tienen un buen acabado superficial de las piezas fundidas, En la Fig. 2 (a,b) se muestra cómo se va a diseñar el molde perdido de cada pieza de la banca.

Soldadura

La unión de cada una de las piezas de la banca, se efectuará con un equipo de soldadura manual de arco metálico (MMA) o soldadura de electrodo, como se muestra en la Fig. 3.

Ensayo de Dureza

Se medirá la dureza de la banca de aluminio, por la técnica *Rockwell F*, utilizando un durómetro Mitutoyo, como se observa en la Fig. 4.

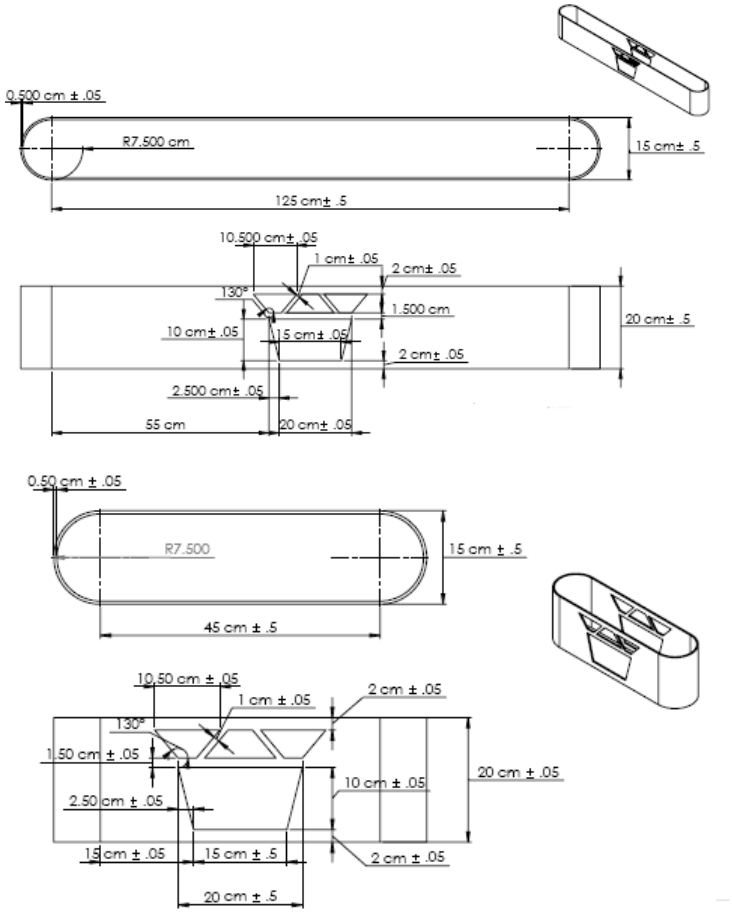
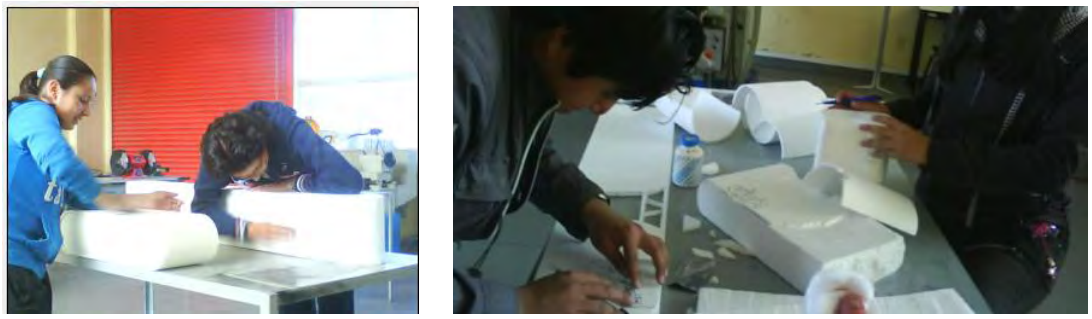


Fig. 1. Diseño de las piezas con el software AUTOCAD



(a) (b)

Fig. 2. Diseño del modelo en poliestireno expandido

Fig. 3. Soldabilidad de las piezas fundidas

Fig. 4. Durómetro Mitutoyo

Discusión de Resultados

Debido a la demanda de calidad cada vez más exigente dentro de la Industria Manufacturera -Sociedad - Medio Ambienté, se requieren piezas con un mejor acabado y mayor precisión dimensional pero a costos más bajos. El moldeo en arena en verde, es un proceso de manufactura utilizado actualmente para la obtención de piezas geométricas complicadas ante situación; se necesita utilizar toda la información científica en beneficio de mayor rapidez en producción de piezas, esto debido a la gran competencia; para obtener piezas con buena calidad es necesario manejar cuidadosamente el moldeo en verde ya que en realidad el molde es parte vital de un proceso para la manufactura de piezas coladas. De aquí que se debe presentar gran atención a los detalles que entran en la preparación, control, manejo y uso apropiado de la arena.

En la Tabla 1 se muestra la aleación de aluminio requerida y las temperaturas de colada para esta pieza de aluminio.

Tabla 1. Temperatura de vaciado

Aleación	**Temperatura de Vertido**
Al-Si-Mg	680-720 ±30

De esta manera, se pasó al moldeo en verde, para obtener los moldes con el modelo de poliestireno expandido (unicel). Los modelos de poliestireno se caracterizan por ser extraordinariamente ligeros aunque resistentes y poco dañinos a la arena de moldeo. La Fig. 5 (a, b, c, d, e, f) muestra los pasos del moldeo en verde y desmoldeo, para obtener las piezas finales de aluminio.

En la Fig. 5-a se presenta el moldeo y el modelo perdido dentro de la caja de moldeo; la fig. 5-b muestra el recubrimiento del molde con polvo separador, posteriormente en la fig. 5-c se realiza la compactación manual para una obtener una presión homogénea. En la Fig. 5-d se muestra la huella del modelo de unicel que se evapora durante el vaciado, en la Fig. 5-e se observa el vaciado manual del aluminio a la temperatura de 750 °C, posteriormente se deja un tiempo solidificación de 5 minutos después de verter el metal en el molde de arena. Finalmente en la Fig. 5-f se observa el desmoldeo después del tiempo de solidificación del metal líquido.

En la Fig. 6 (a, b, c) se aprecia el corte de marazotas, desbaste de las caras de las piezas fundidas, canales de alimentación, limpieza de los restos de la arena del molde, como pequeños excesos de aluminio, los cuales deben ser removidos para mejorar la apariencia del material de las piezas de fundición y pulido de ambas vistas de las pieza fundidas.

En la Fig. 7 (a, b) se presenta la unión de las piezas por la técnica de soldadura y su acabado superficial mediante esmerilado. Además, la técnica de resanado en las zonas de soldadura para una mejor apariencia estética, como se observa en la Fig. 8 (a, b).

Conclusiones

Uno de los mayores retos en el campo de la ingeniería de manufactura, procesos de fabricación, diseño de piezas y materiales, es integrar las consideraciones técnicas, económicas y medioambientales, de forma razonada y eficiente, como se presenta en este trabajo. Hasta ahora no existen fórmulas claramente definidas para dirigir estos problemas, por lo que las decisiones carecen, en la mayoría de los casos con demasiada frecuencia, de bases técnico-económicas.

(a) *(b)* *(c)*

(d) *(e)* *(f)*

Fig. 5. Proceso de moldeo en verde para obtención de piezas metálicas de aluminio.

(a) *(b)* *(c)*

Fig. 6. Procesos de (a) Corte, (b) limpieza y (c) Devaste de las piezas de fundición.

Fig. 7 (a, b) piezas de aluminio soldadas

(a) (b)

Fig. 8. (a) Recubrimiento y (b) Resanado por la técnica de pasta dura.

Fig. 9. Producto terminado de banca arquitectónica de aluminio.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo para este trabajo, a la microempresa *Fundidora de Muebles Arquitectónicos*, a CONACYT y a Promep, y asimismo, al Grupo de Investigación *Ciencia e Ingeniería Materiales*.

Referencias

[1] Ostermann, F. et al., Aluminium Materials Technology for Automobile Construction. Mechanical Engineering Publ. Ltd., Londres (R.U.), 1993.
[2] American Society for Material, Metals Handbook, vol. 15: Casting, ASM Int., Columbus, OH (EE.UU.), 1988: 294-295.
[3] American Foundrymen's Society, Aluminum Casting Technology, 2a ed., AFS inc, Des Plaines, IL (EE.UU.), 1993: 145-166.
[4] American Foundrymen's Society, Casting Buyer's Guide, Ia ed, AFS inc, Des Plaines, IL (EE.UU.), 1988: 44-64.
[5] Groover M. Fundamentos de Manufactura Moderna, Materiales, procesos y sistemas. Prentice Hall Hispanoamericana S.A, 1997, 57-61.
[6] ASM Handbook, Volume 2. Properties and selection: Non ferrous alloys and special- purpose materials. ASM International.
[7] Chon L. Tsai, Advances in the Resistance Welding of Automotive Aluminum, Innovations in Aluminum, Part l , Springer link, JOM ,pp 28-30, 1997
[8] Robin Conger and Mark Hattrup, U.S. DOE Programs Team to Give a Boost to the Aluminum Industry, Innovations in Aluminum, Part l ,Springer link, JOM ,pp 15, 1997.
[9] Sergey F. Golova Shchenko, Sharp Flanging and Flat Hemming of Aluminum Exterior Body Panels, JMEPEG 14:508-515 ©ASM International, 2005.
[10] V. B. Deev, V. A. Degtyar, A. I. Kutsenko, I. F. Selyanin, and A. P. Voitkov, Resource Saving Technology for the Production of Cast Aluminum Alloys 1, "Izvestiya VUZ. Chernaya Metallurgiya,", 12, pp. 33–36. 2007
[11] B. Denkena Æ D. Boehnke Æ L. de Leon, Machining induced residual stress in structural aluminum parts, Prod. Eng. Res. Devel. 2:247–253, 2008

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 88. Volumen 4(1), 9 páginas

SISTEMA DE CONTROL SUPERVISORIO BASADO EN INTOUCH–FUZZYTECH PARA CÁMARAS DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS

Durvvin Alexis Rozo Ibañez[1], Aldo Pardo García[1], Jorge Luis Díaz Rodríguez[1]

Resumen

El control difuso es una técnica alternativa para el diseño de una gran variedad de aplicaciones, proporciona un método conveniente para el desarrollo de controladores utilizando información heurística. Este artículo presenta la utilización de la lógica difusa como sistema de control en el proceso de conservación de productos agrícolas y la realización de un sistema de monitoreo y control de temperatura y humedad relativa esencial para mejorar y prolongar el ciclo de vida de los productos agrícola perecederos. El trabajo se basa en el diseño del controlador y la implementación sobre una herramienta computacional (FuzzyTech), capturando los datos mediante un autómata programable y monitoreando en tiempo real las variables del sistema en una interfaz hombre maquina (InTouch-Wonderware).

Palabras clave: Cámara de almacenamiento, Control basado en computador, Controlador lógico difuso, controlador lógico programable, Sistema de supervisión y control.

Summary

Fuzzy control is an alternative technique for designing a variety of applications, provides a convenient method for the development of drivers using heuristic information. This paper presents the use of fuzzy logic and control system in the process of preservation of agricultural products and the implementation of a monitoring and control of temperature and relative humidity essential to improve and prolong the life cycle of perishable agricultural products. The work is based on controller design and implementation of a computational tool (FuzzyTech), capturing data via a PLC and monitor real-time system variables in a Human-Machine Interface (Wonderware InTouch).

Keywords: Storage Chamber, Computer-based Control, Fuzzy Logic Control, Programmable logic controller, Supervisory and Control system.

Introducción

En los últimos años, en la mayoría de las ramas de la ciencia se ha experimentado un interés en el uso de métodos desarrollados por la Inteligencia Artificial (IA); aunque el objetivo sea desarrollar maquinas y herramientas que presenten un comportamiento inteligente parecido al del ser humano, esta aún lejos de ser alcanzado completamente.

Paralelo al crecimiento de la inteligencia artificial, la computación digital ha evolucionado exponencialmente, produciendo equipos veloces, compactos y económicos, resolviendo problemas considerados hasta hace poco como complejos.[1]

Para el año 2020 la población mundial alcanzará 8 mil millones de habitantes, el papel de la agricultura por lo tanto ha llegado a ser cada vez más crucial en la provisión de alimentos, el manejo ambiental y el abastecimiento de energía.[2] La naturaleza intrínsecamente compleja, dinámica, y no lineal de los sistemas agropecuarios ha requerido siempre las soluciones basadas en técnicas y tecnologías avanzadas, para proporcionar mayor exactitud, una mayor comprensión y soluciones apropiadas.

[1] Grupo de Investigacion automatización y Control, Universidad de Pamplona, Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Tel.: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303 Ext. 140. E-mail: {durwinrozo, apardo13, jdiazcu}@unipamplona.edu.co

Descripción de la cámara de almacenamiento

La función del almacenam iento de productos agrícolas consiste en proporcionar un ambiente adecuado para reducir al mínimo las perdidas por deterioro previo al mercadeo, los productos destinados al almacenamiento deben ser recolectados en estado de maduración optima, ya que su maduración en condiciones de almacenamiento se reduce si es suficiente o excesiva (productos verdes o pasados).

El enfriamiento en cámara es un método muy lento pero relativamente económico, cuando se dispone de electricidad para la refrigeración mecánica, cuando se usa el enfriamiento en cámara, el producto es simplemente cargado en el interior de la cámara fría, y el aire frío se deja circular entre las cajas de cartón, sacos, costales, cajas palet (arcones) o la carga a granel.[3]

La cámara de almacenamiento es una construcción con características especiales ubicada de forma estratégica para permitir el ingreso del ambiente presente en el exterior, esto debido a que el sistema de enfriamiento utilizado se realiza inyectando el ambiente exterior, modificando las condiciones de temperatura y humedad relativa al interior de la cámara, razón por la cual estas construcciones se localizan en regiones de paramo, donde las condiciones son optimas para la conservación de productos agrícolas.

Para este trabajo, la cámara se localiza en condiciones donde la temperatura y la humedad relativa oscilan entre 7 y 10 °C y 85 y 95% RH respectivamente, gracias a estas condiciones los productos a almacenar deben estar dentro de estos rangos, como ejemplo se tomo la maracuyá donde la vida aproximada de almacenamiento esta entre las 3 y 5 semanas con estas condiciones ambientales.

Para el desarrollo de esta investigación se eligió al PARAMO DE PACHACUAL, ubicado a 50 metros de la carretera central que se dirige desde Pamplona a Bucaramanga en el Departamento de Norte de Santander, Vereda Aguedina, Municipio de Silos con una altura sobre el nivel del mar de 3300 Mts, con una temperatura promedio entre 6 – 10 ºC y una humedad relativa entre 80 – 95 % HR.

El método utilizado para la conservación de productos agrícolas perecederos es el de enfriamiento por aire forzado; se utiliza este método gracias a las condiciones ambientales en el exterior de la cámara de conservación, la cual puede almacenar en su interior hasta 5 toneladas de producto.

Sistema de enfriamiento y calefacción

El espacio de almacenamiento se encuentra en un área donde recircula el aire por medio de un sistema de ventilación como se muestra en la Fig. 1.

Los ventiladores son de tipo axial encargados de inyectar el ambiente del exterior con las condiciones climáticas optimas para le conservación del producto; el flujo de entrada a la cámara es regulado por medio de un variador de velocidad, este recibe la información enviada del autómata programable y transformado a un valor para la variación del voltaje.

El sistema de calefacción es realizado por la acción del conjunto ventilador-resistencia; al igual que los ventiladores axiales, la potencia de la resistencia es regulada por el variador de velocidad, información enviada por el Autómata con rangos entre 0 – 10 Volts.

El sistema de humificación esta conformado por una bomba centrifuga y válvulas de paso, las cuales se activaran y desactivaran en caso que la humedad disminuya o aumente según sea el caso; este sistema forma una microaspersión creando un ambiente optimo para la conservación del producto.

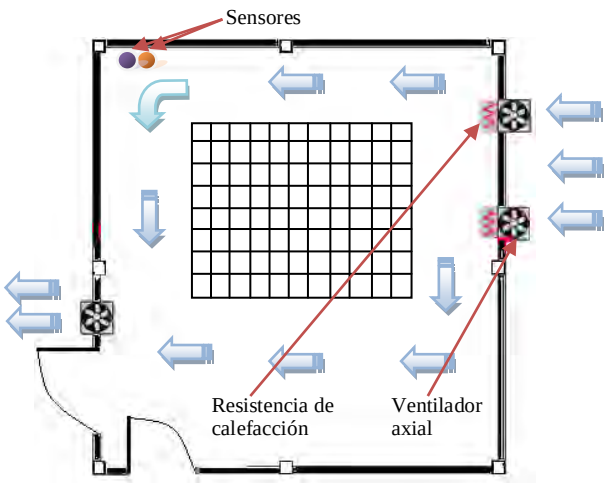


Figura 1. Cámara de conservación

Estudio del acople temperatura-humedad

La Simulación del Modelo para un Sistema de Refrigeración fue desarrollado para simular el comportamiento dinámica de un Sistema de refrigeración; este sistema es representado por diferentes ecuaciones algebraicas y diferenciales basadas en el balance de masa y energía. [4]

El modelo tiene una estructura modular como se muestra en la Fig. 2, los subsistemas mas importantes hacen referencia al almacenamiento del aire frio, el producto, el sistema de calefacción y de enfriamiento y el ambiente.

Para este sistema solo es necesario un número mínimo de parámetros de entrada, en el caso que estos parámetros no estén disponibles, estos pueden ser estimados realizando un razonamiento de su comportamiento físico del proceso.

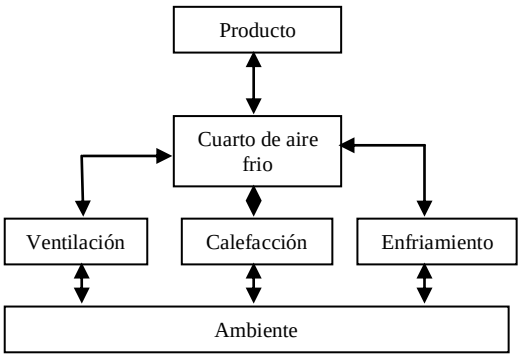


Fig.2. Modelo estructural sistema de enfriamiento

Como ejemplo, podemos ver la relación de las ecuaciones del balance de masa y energía del almacenamiento en frio de productos, de la siguiente manera:

$$\frac{dU}{dt} = \sum_{k} \dot{Q}_k + \sum_{in} \dot{m}_{in} \times \dot{h}_{in-} \sum_{out} \dot{m}_{out} \times \dot{h}_{out}$$

$$\frac{dm}{dt} = \sum_{in} \dot{m}_{in} - \sum_{out} \dot{m}_{out}$$

Basado sobre esta estructura es posible investigar la interacción de la dinámica compleja entre los diferentes subsistemas, incluyendo las diferentes perturbaciones que pueden entrar al sistema.

La simulación del modelo muestra la dinámica del cuarto frio bajo la influencia de perturbaciones o debido a los cambios del punto de ajuste. En la Fig. 3 se observa la grafica de la temperatura versus la humedad relativa al interior de la cámara de almacenamiento; la grafica muestra las curvas como resultado de calefacción, humidificación, incremento de la potencia del ventilador, esta grafica muestra dos importantes efectos: al realizar cambios de temperatura, se afecta directamente la humedad relativa; mientras al variar la humedad, causa pequeños cambios en la temperatura; y los cambios en la potencia en el sistema de ventilación y de calefacción afecta en gran manera la tempera y humedad relativa. [5]

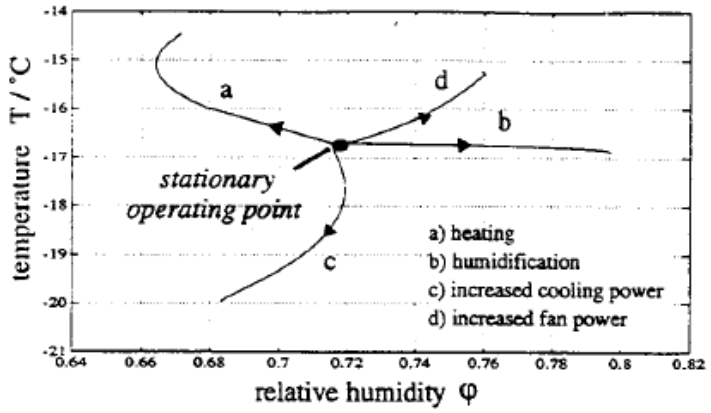


Fig. 3. Temperatura de la cámara de conservación y humedad relativa.

Diseño del controlador Fuzzy

La lógica difusa fue introducida por Zadeh como un método de tratamiento imprecisamente definido, usando el razonamiento y experiencia humana.

El controlador difuso esta desarrollado en el software MatLab, encargado de simular el comportamiento de las variables en el transcurso del tiempo, esta conformado por dos variables de entrada (Temperatura y humedad relativa), tres salidas (potencia del ventilador, potencia de la resistencia y estado del humidificador) y una base de reglas, como se observa en la Fig. 4.

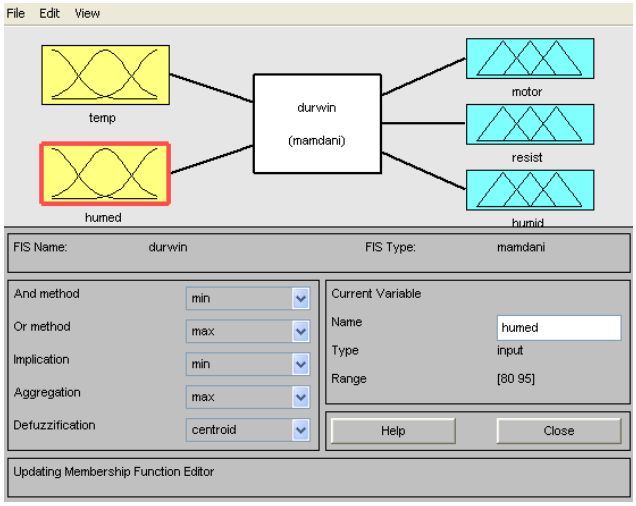


Fig. 4. Panel principal de ToolBox en MatLab

Para cada una de las variables se les define el universo discurso con los respectivos rangos, utilizando membresias laterales trapezoidales y centrales triangulares definidas como: MA, A, N, B, MB, denominadas Muy Alto, Alto, Normal, Bajo y Muy Bajo; para la variable de temperatura entre 6 – 10 °C y para la humedad 80-95 %HR, como se muestra en la Fig. 5, así mismo con las variables de salida como la potencia del motor y la resistencia con membresias MA, A, N, B, MB, definidas con rangos entre 0-10 volt.

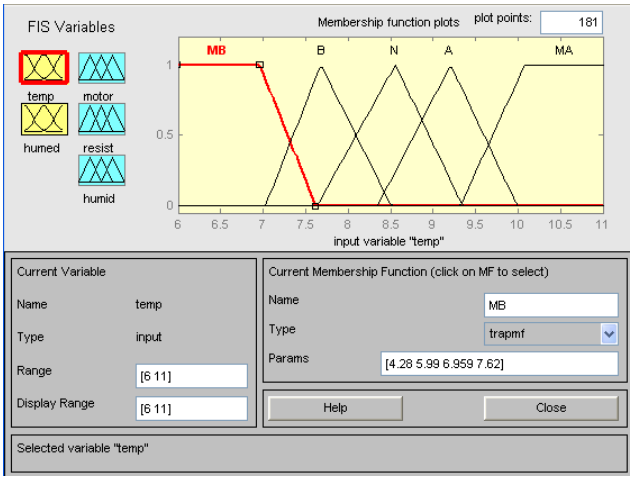
El sistema de humidificación se emplea con rangos entre 0 y 24 voltios con membresias laterales trapezoidales, el universo discurso se encuentra definido como B y A, denominados bajo y alto, como se observa en la Fig. 6.

La base de reglas definen las relaciones lógicas entre las variables lingüísticas, son el sistema que tiene el conjunto difuso de guardar el conocimiento lingüístico, permitiendo resolver el problema para el cual ha sido diseñado.

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron la base de reglas mostradas a continuación basada en la experiencia de expertos.

Si la temp es MB y la humed es MA entonces el motor es B la resistencia es MA y el humid es B
Si la temp es MB y la humed es A entonces el motor es B la resistencia es A y el humid es B
Si la temp es B y la humed es MA entonces el motor es B la resistencia es A y el humid es B
Si la temp es B y la humed es A entonces el motor es B la resistencia es N y el humid es B
Si la temp es N y la humed es N entonces el motor es N y la resistencia es N
Si la temp es A y la humed es B entonces el motor es A la resistencia es B y el humid es A
Si la temp es A y la humed es MB entonces el motor es A la resistencia es B y el humid es A
Si la temp es MA y la humed es B entonces el motor es MA la resistencia es MB y el humid es A
Si la temp es MA y la humed es MB entonces el motor es MA la resistencia es MB y el humid es A

La toolbox de control difuso de MatLab permite la visualización grafica de la respuesta del sistema controlado mediante la opción Surface como se observa en la Fig.7, esta constituye una importante herramienta en el estudio del comportamiento del sistema, mostrándolos posibles valores de respuesta ante cualquier combinación de entradas.



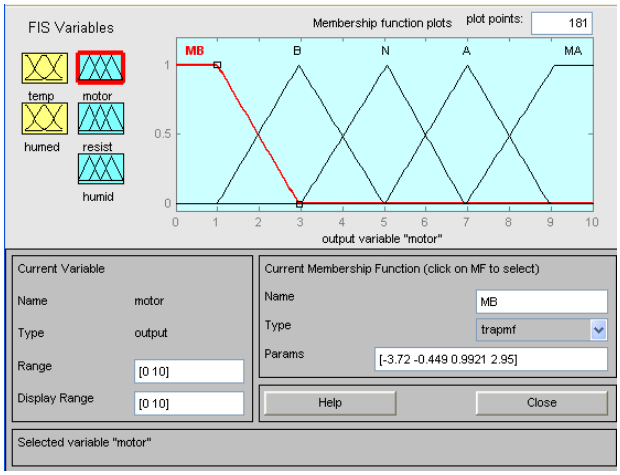


Fig.5. Universo Discurso de temperatura y motor.

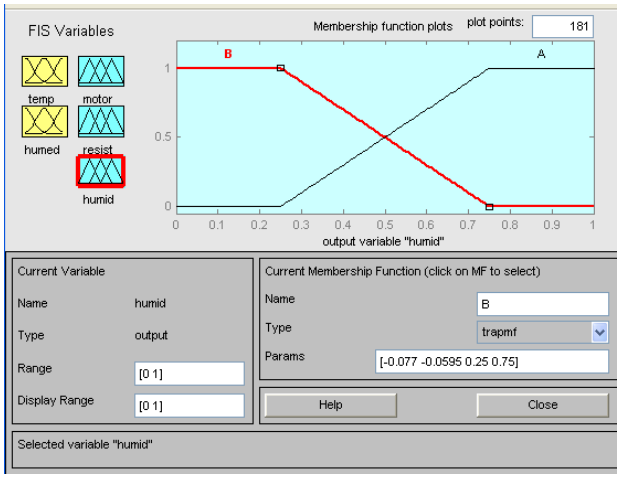


Fig.6. Universo Discurso Humidificador

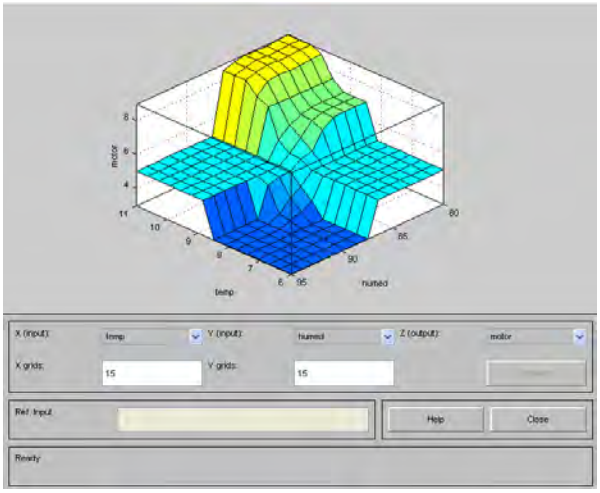


Fig. 7. Superficie de control mediante la opción Surface.

Aplicación Intouch-Fuzzytech para el proceso de conservación

Para el desarrollo del proyecto de conservación de productos agrícolas se impelmento el sistema de monitoreo y control basado en el software HMI InTouch de la Wonderware en su versión 9.5 [6] y la herramienta software para lógica difusa y neuro difusa FuzzyTech de INFORM en su versión 5.0 [7]; la implementación del autómata programable FPC101AF de Festo encargado de captar y manipular las variables de entrada y salida respectivamente.

La interfaz hombre-maquina se desarrollo con el fin de monitorear el estado de las variables que intervienen en el proceso de conservación. Debido a que la cámara de conservación se encuentra ubicada al interior de las instalaciones del Centro Experimental del Paramo de Pachacual, el HMI complementa todas las variables tanto de la cámara como del centro experimental, como se muestra en la Fig. 8.

Al pulsar sobre cada uno de los locales se abrirá en un tamaño mayor mostrando los datos requeridos por el usuario; para el caso del proyecto se centra en la cámara de conservación que se observa en la Fig. 9, es allí en donde ocurre todo el proceso y el lugar en donde se centra la aplicación; en ella se observa de forma detallada el comportamiento de todas las variables de entrada y salida que intervienen en el sistema (temperatura, humedad, velocidad del motor, potencia de la resistencia, sistema de ventilación, calefacción, humedad).

Las variables son captadas por el PLC y enviadas a la Interfaz Hombre-Maquina utilizando el protocolo DDE (Intercambio Dinámico de datos), cada variable analógica es tomada por las entradas análogas y enviadas al conversor A/D, valor que es almacenado en un registro particular para cada entrada.

Fig. 8. Monitoreo general del Centro experimental del Paramo de Pachacual.

Fig.9. Panel Cámara de almacenamiento

La comunicación entre el autómata programable y el software de monitoreo se realiza a través de protocolo DDE, esto se realiza por medio de un software propio de cada autómata, en el caso del PLC de FESTO FPC101AF, el Driver tiene como nombre EzDDE; DDE es un protocolo de comunicación entre las aplicaciones de Windows establecidas por Microsoft.

El procesamiento de la información es realizada por el software FuzzyTech de INFORM, herramienta para el diseño de controladores difusos y neurodifusos. En el proceso de conservación de productos agrícolas este software es el encargado de realizar el procesamiento de la información enviada desde InTouch como software de visualización, tomando como base el diseño del controlador difuso previamente desarrollado en MatLab.

FuzyTech toma la información enviada por InTouch utilizando protocolo DDE y es configurado para la recepción y a su vez para el envió de datos para cada una de las variables de entrada y salida respectivamente como se muestra en las Figs. 10 y 11.

Como se observa en las figuras 10 y 11, los datos se envían y reciben por medio de los registros asignados a cada salida y entrada del PLC, por intermedio de los registros asignados a cada variable.

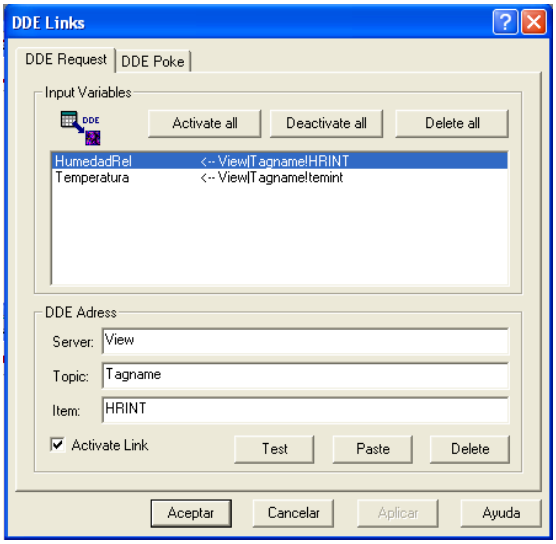


Fig 10. Configuración de variables de entrada

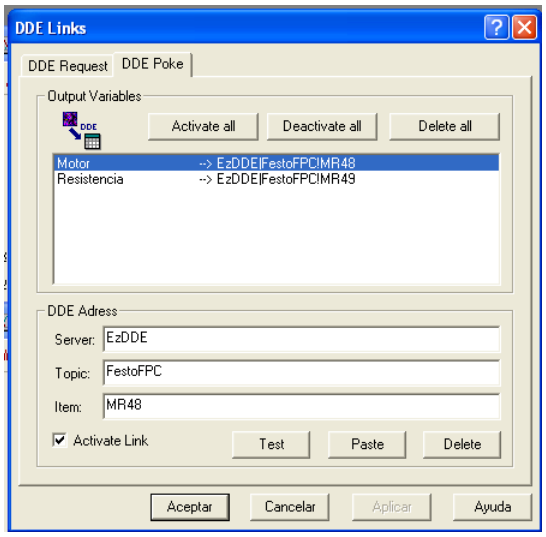


Fig 11. Configuración de las variables de salida

Para realizar la comunicación con el software de visualización InTouch se realiza instalando el Activex Control correspondiente a FuzzyTech llamado Fuzzytech Runtime control; ya instalado aparece el icono en la elección de wizard como se observa en la Fig. 12.

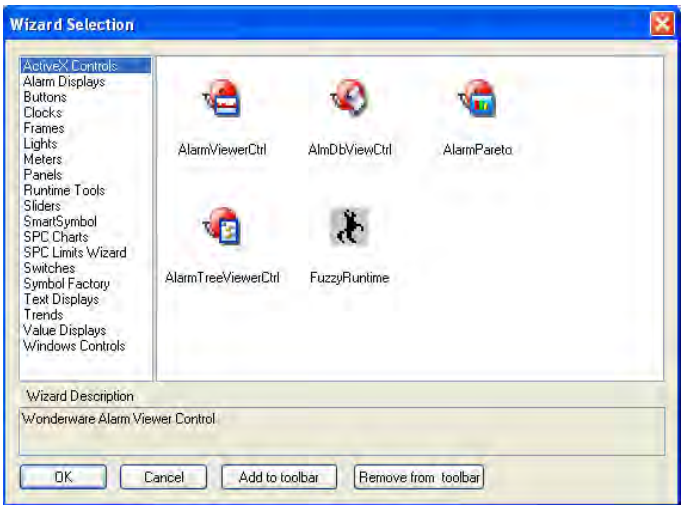


Fig. 12. Activex control FuzzyTech Runtime

Al realizar la comunicación entre los software se verifica por medio del panel de control que se observa en la Fig. 13, se verifica el enlace entre la aplicación de InTouch y la aplicación de FuzzyTech nombrada como Storage.ftr.

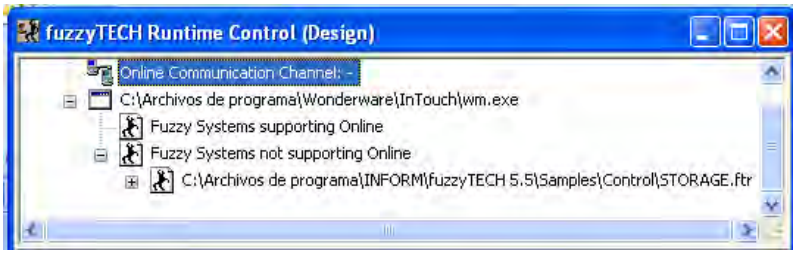


Fig. 13 Panel de Control FuzzyTech-InTouch

Conclusiones

Con los sistemas basados en la lógica difusa se pueden evaluar mayor cantidad de variables, entre otras, variables lingüísticas, no numéricas, simulando el conocimiento humano.
Se relaciona entradas y salidas, sin tener que entender todas las variables, permitiendo que el sistema pueda ser más confiable y estable que uno con un sistema de control convencional.

El software InTouch ofrece funciones de visualización gráfica que llevan sus capacidades de gestión de operaciones, control y optimización a un nivel completamente nuevo; es un sistemas basados en estándares que permiten incrementar al máximo la productividad, optimizar la efectividad del usuario, mejorar la calidad y reducir los costos operacionales, de desarrollo y de mantenimiento.

La implementación de sistemas difusos y neurodifusos en FuzzyTech se puede llevar a cabo de dos maneras: autónoma y servicio cliente-servidos. En el primer caso el sistema opera independientemente del entorno de desarrollo utilizando generadores de código para PLCs, Microcontroladores y DSPs; de otro lado, la implementación tipo cliente-servidor permite que el Kernel de FuzzyTECH trabaje como servidor de datos para MS Excel, MS Visul Basic, InTouch, entre otros, a través de las interfaces DDE, RCU-API (DLL) y serial Link.

Referencias

[1] MUJICA A. Francisco. *Diseño sistemático de controladores Difusos usando razonamiento Inductivo*. Tesis doctoral, universidad Politécnica de Cataluña. 1995. Barcelona, España

[2] BUSTOS M. José Ricardo. *Inteligencia Artificial en el Sector agropecuario*. Seminario Investigativo. 2005. Universidad nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

[3] Lisa Kitinoja and Adel A. *Técnicas de Manejo Postcosecha a Pequeña Escala: Manual para los Productos Hortofrutícolas.* 2002. Series de Horticultura y Postcosecha. Centro de Investigación e Información en Tecnologías Postcocecha. Universidad de california, Davis.

[4] BECKER M.; HASSE, H.; KOSACK, P.; MAURER, G.; SCHERER, H. *Thermodynomisches Modell Zur Simulation Dynamischer.* 1992, Bremen, Band II.

[5] BECKER M.; OESTREICH, D.; HASSE, H.; LITZ, L. *Fuzzy Control for Temperature and Humidity in Refrigeration Systems.* 1994. Univerithat Kaiserslautern, Alemania.

[6] InTouch9.5 Invensys-Wonderware. Programa para el monitoreo y control de procesos induatriales. 2007.

[7] FuzzyTECH Inform, Software para el desarrollo de aplicaciones de lógica difusa y neurodifusas. 2005.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 89. Volumen 4(1), 6 páginas

DIMENSIONAMIENTO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBO Y CORAZA

Rita Aguilar Osorio[1], César Adolfo Ortega Vivas(s),[2], Eduardo Oliva López[1]

Resumen

El propósito de este trabajo es presentar el dimensionamiento de los principales componentes de un intercambiador de calor de tubo y coraza. Este dimensionamiento se realizó considerando las condiciones de operación y las características de los fluidos de trabajo. Las dimensiones obtenidas de los principales componentes fueron: una coraza cilíndrica de un solo paso con un diámetro exterior de 0.315 m, el espesor de 0.01 m. El arreglo de tubos consistió de 110 tubos en U con un arreglo triangular de 30º, el flujo del fluido a través de los tubos fue de cuatro pasos, la longitud fue de 2.6 m, la separación entre tubos fue de 0.0126 m. Este intercambiador solamente tiene un espejo y un cabezal flotante, en el cual cada tubo es libre de moverse, permitiendo movimiento diferencial entre la coraza y los tubos. En este trabajo se seleccionaron las mamparas segmentadas con un corte horizontal de 33%, debido a que con este tipo de mamparas se minimizan las acumulaciones y depósitos en la parte inferior del intercambiador. Las distancias entre las mamparas centrales fueron de 0.12 m.

Palabras Clave –Dimensionamiento de un intercambiador de calor, diseño de un intercambiador de calor, intercambiador de calor de tubo de tubo y coraza, intercambiador de calor.

Abstract

The aim of this paper is to present the sizing of the main components of a shell and tube heat exchanger. The sizing was carried out using the operating conditions and the working fluids characteristics. The dimensions obtained of the main components are: a cylindrical shell of one single pass with outside diameter of 0.315 m, the thickness was 0.01 m. The tube bundle consisted of 110 U-tubes with triangular 30º tube bundle for four passes, the length was 2.6 m, and the tube pitch was 0.0126m. This U-tube exchanger has only one tubesheet and one head, calling floating head, each tube is free to move, thus permitting differential movement between shell and tubes. In this work baffles with a horizontal cut of 33% was determined, because this minimizes accumulation of deposits at the bottom of the shell and also prevents stratification, the number of baffles were 18. This exchanger has been fitted a baffle central pitch of 0.12 m.

Key words: Heat exchanger sizing, heat exchanger design, shell and tube heat exchanger, heat exchanger.

Introducción

Para realizar un buen dimensionamiento de los intercambiadores de calor se requiere del conocimiento amplio de las propiedades mecánicas y térmicas de éstos y una apropiada selección de los materiales para su fabricación. Para esto, es necesario conocer las condiciones de operación del equipo, la corrosión y el ensuciamiento que pueden ocasionar los fluidos de trabajos, así como también las propiedades físicas y mecánicas de los materiales y el costo. Los principales componentes de un intercambiador de calor de tubo y coraza son: La coraza, el arreglo de tubos, los cabezales, los espejos, las mamparas, las boquillas y las barras de soporte. La Norma: Tubular Exchanger Manufacturers Association (TEMA) [1] describe los componentes de un intercambiador de calor de tubo y coraza con detalle.

[1] Sección de Estudios de Posgrado de Investigación. ESIME Zac. Instituto Politécnico Nacional. Edificio 5, 3er. Piso. Col. Lindavista, C.P. 07738, México, D. F. Tel: (55) 5729-6000, exts. 54819 / 54586. E-mail: raguilaro@ipn.mx

[2] Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Campus Querétaro. Epigmenio González No. 500 Fracc. San Pablo, Apartado Postal 37. C. P. 76130. Santiago de Querétaro, Querétaro(442) 238.31 00. E-mail: kov70@yahoo.com

Existen programas comerciales para dimensionar los componentes de los intercambiadores de calor, generalmente, éstos pertenecen a grupos de investigación y compañías internacionales. Estos programas están orientados a las necesidades de la compañía y del país donde fueron desarrollados, además son excesivamente caros, por esta razón es necesario que en México se realicen programas computacionales para diseñar estos equipos con la finalidad de adecuarlos a las necesidades de la industria mexicana, los cuales son ampliamente utilizados en el área petroquímica, química, en la generación de energía eléctrica, en la alimenticia, entre otras.

El propósito de este trabajo es presentar el dimensionamiento de un intercambiador de calor de tubo y coraza de cuatro pasos en los tubos y un solo paso en la coraza. El diseño de este intercambiador está basado en TEMA [1] y el Código ASME Sección VIII [2] y en algunas recomendaciones dadas en la literatura especializada.

Descripción de los principales componentes de un intercambiador de calor de tubo y coraza

Coraza [3] – [6]. La coraza es un componente cilíndrico, la cual contiene el arreglo de los tubos. Su dimensionamiento depende de la forma en que el fluido recorre la coraza, que puede ser de un solo paso o de varios paso, de flujo divido o de flujo cruzado; de la caída de presión y de la aplicación requerida.

El arreglo de los tubos [1] – [9] proporciona el área de transferencia de calor. Para asegurar la mayor transferencia de calor y las caídas de presión requeridas en la coraza se debe realizar una buena selección del arreglo de los tubos. Existen principalmente 4 tipos de arreglos de tubos, estos son los arreglos triangulares de 30° y rotado de 60°, los arreglos cuadrados de 90° y rotado de 45°.

Las mamparas [1] – [8], [10] sirven para dirigir el fluido en la coraza a través del arreglo de los tubos y también sirven para proporcionar soporte al arreglo de los tubos y evitar vibraciones. Las mamparas segmentadas son las más utilizadas en los intercambiadores de calor de tubo y coraza, debido a que no permiten fácilmente el ensuciamiento o la acumulación de partículas sólidas en la coraza y en los tubos, por lo cual se obtiene un mayor coeficiente de transferencia de calor. Las mamparas segmentadas se dividen en segmentadas simples, segmentadas dobles y segmentadas triples.

Los espejos [1 – 8], [11] – [16] son unos de los componentes más importantes del intercambiador de calor debido a que estos sirven para sostener el arreglo de tubos, las barras de soporte, las mamparas, a la coraza y a los cabezales, además, sirve también para separar los fluidos de la coraza y los tubos. Los espejos fijos son los más utilizados en la industria en operaciones cuando las presiones y las temperaturas no son tan altas, su fabricación es sencilla y de bajo costo. Los espejos fijos también se pueden utilizar como bridas. Estos son recomendables cuando los fluidos de trabajo son de baja suciedad. Los espejos flotantes

Metodología para del dimensionamiento del intercambiador de calor

El dimensionamiento de los componentes del intercambiador de calor se basó en la siguiente metodología:

Paso 1. El primer paso para el dimensionamiento de los componentes del intercambiador fue determinar los datos iniciales. Las características del fluido de trabajo, que en este caso fue el agua, el flujo volumétrico máximo tanto en la coraza con en los tubos fue de 8000 l/h. Las temperaturas de entrada y salida en los tubos fueron de 60 y 45^oC respectivamente, y en la coraza las temperaturas fueron de entrada 5 y 19^oC a la salida. La longitud de los tubos determinada fue de 2.6 m con un diámetro externo de 0.01 m y un espesor de 0.0008 m. El diámetro exterior de la coraza fue de 0.315 m con un espesor de 0.01m. El número de pasos en los tubos feron 4 y solo uno en la coraza.

Paso 2. Para calcular la carga térmica se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q_t = \dot{M}_t\, C_p (t_1 - t_2) \tag{1}$$

$$Q_s = \dot{M}_s\, C_p (T_2 - T_1) \tag{2}$$

Siendo Q_t y Q_s la transferencia de calor de los tubos y la coraza, respectivamente. $\dot{M}$, el flujo másico, C_p, el calor específico, t_1 y t_2 son las temperaturas de entrada y salida en los tubos, T_1 y T_2 son las temperaturas de entrada y salida de la coraza.

Paso 3. Para calcular la temperatura media efectiva se tiene que calcular la temperatura media logarítmica para un flujo en contracorriente, la cual se obtiene mediante la ecuación (3).

Para flujos cruzados se obtuvo un factor de corrección, el cual está en función de las temperaturas de los tubos y la coraza y del número de pasos. El factor de corrección se expresa por la ecuación (4).

$$\Delta T_{LM} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{LN\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} \tag{3}$$

$$F_t = \frac{\sqrt{(R^2+1)}LN\left[\frac{(1-S)}{(1-RS)}\right]}{(R-1)LN\left\{\frac{2-S\left[R+1-\sqrt{(R^2+1)}\right]}{2-S\left[R+1+\sqrt{(R^2+1)}\right]}\right\}} \tag{4}$$

Siendo R y S:

$$R = \frac{(T_1 - T_2)}{(t_2 - t_1)} \qquad \text{y} \qquad S = \frac{(t_2 - t_1)}{T_1 - t_1}$$

Finalmente, la diferencia de temperatura verdadera o temperatura media efectiva en el intercambiador fue determinada al multiplicar la temperatura media logarítmica por el factor de corrección:

$$\Delta T_M = F_t \Delta T_{LM} \tag{5}$$

El coeficiente total de transferencia de calor en el sistema fue calculado por:

$$U = \frac{Q}{A\Delta T_M} \tag{6}$$

Paso 4. Calcular el área de transferencia de calor, utilizando los valores de Q, U, y ΔT_{LM}, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$A = \frac{Q}{U\Delta T_{LM}} \tag{7}$$

Paso 5. Determinar el número de tubos, N_t. Este se calcula por:

$$N_t = \frac{A}{A_t} \tag{8}$$

Siendo A_t el área de los tubos, la cual se obtiene por:

$$A_t = \pi d_o L \tag{9}$$

Siendo d_o el diámetro externo de los tubos, L, la longitud de los tubos.

Paso 6. Dimensionamiento de las mamparas. El número de mamparas, N_b, se calculó con:

$$N_b = \frac{L_{ti}}{L_{bc}} - 1 \tag{10}$$

Siendo L_{bc} la distancia entre las mamparas centrales, la cual se obtiene por:

$$L_{bc} = 0.45 D_{is} \tag{11}$$

El diámetro de las mamparas se calculó utilizando D_{is} y el paso o claro entre la coraza y la mampara, L_{sb}, con la siguiente expresión:

$$D_b = D_{is} - L_{sb} \tag{12}$$

El corte de la mamparas, C_b, se calculó con D_{is}, el porcentaje de corte, B_c, aplicando:

$$C_b = \frac{B_c \times D_{is}}{100} \tag{13}$$

La longitud de los tubos entre los espejos fijos, L_{ti}, se obtuvo por:

$$L_{ti} = L_t - 2t_{ts} \tag{14}$$

siendo t_{ts}, el espesor de los espejos fijos.

Las distancias entre las mamparas en los extremos a la entrada y salida del fluido y los espejos fijos, $L_{b,ent}$ y $L_{b,sal}$, se determinaron por la expresión:

$$L_{b,ent} = L_{b,sal} = 0.5(L_{ti} - L_{bc}(N_b - 1)) \tag{15}$$

Paso 7. Dimensionamiento del espejo. Para calcular el espesor del espejo, t_s, se consideró que éste soporta el arreglo de tubos, al cabezal y también se utiliza como brida que unen el cuerpo del intercambiador con el cabezal, se utilizó la siguiente expresión:

$$t_{ts} = \frac{FD_{is}}{2}\sqrt{\frac{P_{ts}}{S_{ts}}} + 2Cp_{ts} \tag{16}$$

Siendo F un factor de corrección, S_{ts} es el esfuerzo permisible a la máxima temperatura del material con que fue fabricado el espejo, y Cp_{ts} es la corrosión permisible del material utilizando como fluido de trabajo el agua. P_{sd} es la presión máxima interna de diseño en la coraza:

Paso 8. Cabezal. El cabezal está constituido por un canal y una tapa. Para calcular el espesor del canal, t_c, primero se determinó el radio exterior del canal, R_{ec}, con el diámetro exterior del canal, el cual es el mismo de la coraza, por:

$$R_{ec} = 0.5D_{ec} \tag{17}$$

Con R_{ec}, P_{td}, el esfuerzo permisible del material del canal, S_c, la eficiencia de unión del material del canal, E_c, y la corrosión permitida, se obtuvo el espesor del canal, t_c, con la siguiente expresión

$$t_c = \frac{P_{td}R_{ec}}{S_cE_c - 0.6P_{td}} + Cp_c \tag{18}$$

El espesor de las tapas de los cabezales se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$t_{cc} = \frac{P_{td}D_{ecc}}{2S_{cc}E_{cc} - 0.2P_{td}} + Cp_{cc} \tag{19}$$

Siendo P_{td}, la presión de diseño de los tubos, y que se calcula por

$$P_{td} = \frac{2S_tE_tt_t}{D_{it} + 1.2t_t}$$

donde S_t, es el esfuerzo permitido del material de los tubos a la temperatura de diseño, E_t, es la eficiencia de la junta de los tubos, en este caso se consideró *1* debido a que los tubos no tienen costura, t_t, es el espesor de la pared de los tubos y D_{it}, es el diámetro interno de los tubos, el cual fue calculado al sustituir el diámetro exterior de los tubos, D_{et}, en la siguiente relación:

$$D_{it} = D_{et} - 2t_t$$

Siendo S_{cc}, el esfuerzo del material de la tapa a la temperatura de diseño, E_{cc}, es la eficiencia de la unión de la tapa que es 1 por ser una pieza fundida y Cp_{cc}, es la corrosión permitida de la tapa, D_{ecc}, es el diámetro exterior de la tapa elipsoidal.

Con los espesores del canal y de la tapa elipsoidal, se calculó la longitud tanto del canal como de la tapa, y la profundidad de ésta. Estos cálculos se realizaron de acuerdo a las recomendaciones de ASME [2], Harris [9] y Megyesy [11]. La longitud total del cabezal, H_c, que permitió una buena distribución del fluido de trabajo en los tubos, se calculó con el diámetro de la coraza, D_s, de la siguiente manera:

$$H_c = D_s \tag{20}$$

Para determinar la longitud del canal, h_c, se le restó la longitud total de la tapa, h_{cc}, a la longitud total del cabezal con lo que se tiene la siguiente expresión:

$$h_c = H_c - h_{cc} \tag{21}$$

Resultados

Para el dimensionamiento del intercambiador se desarrolló un programa computacional en lenguaje FORTRAN siguiendo la metodología descrita. La Fig. 1 muestra el diagrama esquemático del intercambiador de calor de tubo y coraza dimensionado, el cual consistió de una coraza (1) cilíndrica horizontal, fabricada con material acero inoxidable, el arreglo de tubos en U fue triangular de 30º (2). El espejo (3) es una placa circular, la cual soporta a los tubos, (4), las mamparas sirven para dirigir el flujo a través de arreglo de los tubos. Las barras de soporte y espaciadoras (5), sirven para dar soporte a las mamparas y mantuvieron la distancia entre ellas evitando un mal desempeño térmico del intercambiador de calor o daño de los tubos por pandeo o vibración. Cabezal tipo bonete (6). La placa de desviación del fluido (7). La salida y entrada del fluido en la coraza (8) y (9). La salida y entrada del fluido en la coraza (10) y (11).

La Tabla 1 muestra las dimensiones obtenidas con el programa computacional desarrollado, de los principales componentes del intercambiador de calor.

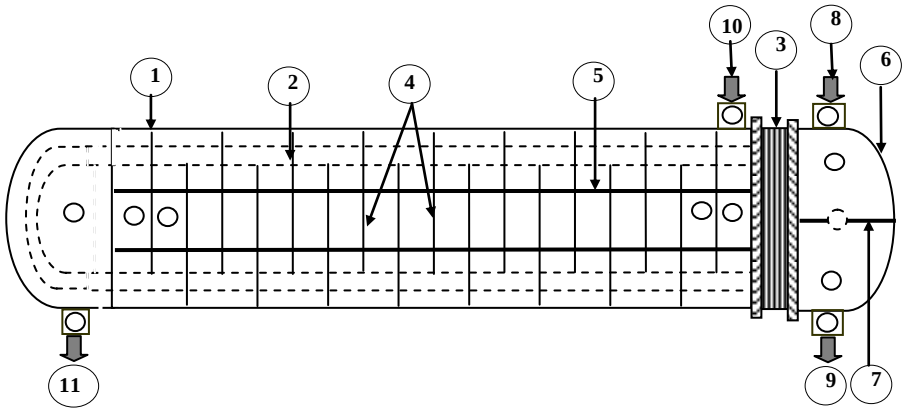


Figura 1. Diagrama esquemático del intercambiador de calor de tubo y coraza

Tabla 1. *Dimensiones obtenidas de los principales componentes del intercambiador de calor.*

Coraza	
Diámetro interno de la coraza, D_s, [mm]	315.0
Espesor de la coraza, [mm]	10.0
Presión de diseño de la coraza, P_{sd}, [MPa]	9.9
Diámetro externo de la coraza, D_{is}, [mm]	325
Longitud de la coraza, L_s, [mm]	2700
Tubos	
Presión de diseño de los tubos, P_{td}, MPa	5.7
Diámetro interno de los tubos, D_{it}, mm	10.0
Paso entre los tubos L_{tp} (mm)	13.5
Espesor de los tubos, mm	0.8
Claro entre coraza-arreglo de tubos, L_{bb}, mm	5.0
Número total de tubos en U, N_{tt}	110.0
Mamparas	
Espesor de las mamparas, t_b, mm	5.0
Claros entre mamparas-tubos L_{tb}, mm	0.5
Claro entre coraza-mamparas, L_{sb}, mm	5.0
Distancia entre mamparas centrals, L_{bc}, mm	0.120
Diámetro interno de las mamparas, D_b mm	305.0
Corte de las mamparas, C_b, [%]	33
Número de mamparas, N_b	18
Cabezal	
Longitud total del cabezal, h_c, mm	22.5
Tapas:	
Espesor de la tapa, t_{cc}, mm	7.7
Radio exterior de curvatura de la tapa, r_{cc} (mm)	28
Bridas	
Diámetro externo de la brida, D_{ebc}, mm	342.9

Conclusiones

Los resultados obtenidos del dimensionamiento de los componentes del intercambiador de calor estuvieron dentro de los parámetros establecidos por las normas, códigos y artículos especializados. Este dimensionamiento permitió la adecuada fabricación del equipo. La coraza determinada fue cilíndrica, horizontal con diámetro interno de 0.305 m. El arreglo de tubos en U fue triangular de 30º, este arreglo permitió el mayor número de tubos y por lo tanto una mayor área de transferencia de calor, la longitud de los tubos fue de 2.6. El tipo de mampara seleccionada fue segmentada simple, con un corte horizontal del 33%, ésta proporcionó una mejor distribución del flujo en el equipo.

Los cabezales fueron tipo bonete, éstos permitieron una buena distribución del flujo en la entrada y salida de los tubos. En este trabajo se seleccionaron las mamparas segmentadas con un corte horizontal de 33%, debido a que con este tipo de mamparas se minimizan las acumulaciones y depósitos en la parte inferior del intercambiador, además, minimizan las acumulaciones y depósitos en la parte inferior del intercambiador.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo recibido del Instituto Politécnico Nacional para la realización de este trabajo.

Referencias

[1] Standards of Tubular Exchangers Manufacturers Association, 7th ed., New York. 1988.
[2] American Society of Mechanical Engineers Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Div. 1, New York. 2001.
[3] Taborek, J. Handbook of Heat Exchangers Design, New York, Begell House, 1992. Inc., p. 3.3.4-1-3.3.4-6, 3.3.5-1-3.3.5-17.
[4] Bell, Kenneth J., 1981, Heat Exchangers "Thermal-Hydraulic Fundamentals and Design", U.S.A, McGraw-Hill, p. 537-557.
[5] Saunders, E. A. D. Heat Exchangers Selection, Design y Construction, New York. 1988. John Wiley & Sons, Inc., p. 3-83, 475-524.
[6] Mukherjee, R. Effectively Design Shell and Tube Heat Exchangers, Chemical Engineering Progress, 1998. India, p. 21-37.
[7] American National Standard "ANSI B16.21", 1978. Nonmetallic Flat Gaskets for Pipe Flanges, ASME, USA, p. 1-2, 6.
[8] Henry, J. A. R. Exchanger Design Handbook: Fluid Mechanics and Heat Transfer, 1983.1ra. ed., U.S.A., Hemisphere Publishing Corporation, Vol. 2, p. 2.2.7-1-2.2.7-11.
[9] Harris, D., Morris, M. Heat Exchanger Design Handbook: Mechanical Design of Heat Exchangers, 1983. 1ra. ed., U.S.A., Hemisphere Publishing Corporation, Vol. 4, p. 4.3.2-2-4.3.2-11, 4.3.6-1-4.3.6-23.
[10] Taborek, J. Handbook of Heat Exchangers Design, New York, Begell House, 1992. Inc., p. 3.3.4-1-3.3.4-6, 3.3.5-1-3.3.5-17.
[11] Megyesy, E. F. Manual de Recipientes a Presión, 7ta. Ed., Editorial Limusa, 2001. México, p. 13-25, 85-96, 98-104, 118-128, 140-160, 192-199, 237, 324-333.
[12] Bell, Kenneth J. Heat Exchangers "Thermal-Hydraulic Fundamentals and Design", 1981. U.S.A, McGraw-Hill, p. 537-557.
[13] Gupta, J. P. Fundamentals of Heat Exchanger and Pressure Vessel Technology, 1986. 1ra. ed., U.S.A, Hemisphere Publishing Corporation, p. 1-54, 361-365, 375-377, 381.
[14] T. C. Spencer, Mechanical Design and Fabrication of Shell and Tube Heat Exchanger, 1986. ASME Pressure Vessels and Piping Division, Houston, Texas.
[15] Gupta, J. P. Fundamentals of Heat Exchanger and Pressure Vessel Technology, 1986. 1ra. Ed., U.S.A, Hemisphere Publishing Corporation, p. 1-54, 361-365, 375-377, 381.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 93. Volumen 4(1), 10 páginas.

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA INTRODUCCIÓN DE AUTOBUSES HÍBRIDOS EN LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO PÚBLICO DE TRANSPORTE DE PASAJEROS EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

José Juan Martínez Nantes[1], Ahmed Zekkour Zekkour[1], Carlos Alberto Rivera Salamanca[1], Gerardo Altamirano León[1], Sergio Héctor Barreiro Torres[1]

Resumen

El objetivo del estudio es realizar un análisis de prefactibilidad para evaluar la conveniencia de introducir vehículos híbridos como parte del sistema de transporte público de pasajeros en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), identificando las barreras que deben ser superadas. Además identificar opciones tecnológicas de vehículos híbridos en el mercado mundial y analizar su costo efectividad respecto a otras opciones considerando parámetros como: costos de las alternativas, emisiones contaminantes, eficiencia energética e impacto ambiental por unidad y del programa piloto. En el contexto enunciado, varios países desarrollados están emprendiendo trabajos de investigación en relación a los vehículos híbridos eléctricos, los cuales están equipados por un grupo motriz compuesto por un motor de combustión interna energizado por cualesquiera de los combustibles conocidos (gasolina, diesel, Gas LP, GNC ó Alcohol) que impulsa a un generador de energía eléctrica y por motores eléctricos. Con este tipo de vehículos se han conseguido bajos consumos de combustible y consecuentemente una reducción de emisiones tóxicas. El interés de la presente investigación sobre la modalidad de los vehículos híbridos destinados al transporte urbano de pasajeros, consiste en analizar la situación comparativa del consumo de combustible y las emisiones tóxicas del autobús híbrido eléctrico contra las del autobús propulsado por un motor a diesel, en virtud de que este último es la modalidad que opera en la Ciudad de México y su Zona Conurbada.

Summary

The principal objective of this study have is make an analysis of feasibility to evaluate the convinience to introduce hybrid vehicles as part of public transportation in Metropolitan Area of Mexico Valley, identifying the obstacles to be break. Also identify tecnological options of hybrid vehicles in world market and analyse their cost, efectiveness in comparison to other options with parameters like costs, emissions, energy efectiveness and environmental impact per unity and whole program. In that context, several developed countries are working in programs of research to develop electric hybrid vehicles, that vehicles are equiped with a driving gear wich have a internal combustion engine that uses anyone of known fuel (diesel, gas, gasoline, alcohol, etc.), that engine boost an electric generator wich provide energy to electric engines. With this kind of vehicles has been reached low fuel consumption and consequently reducing toxic emissions. The interest of this research in modalities of hybrid vehicles for public transportation, is make an analysis to compare both fuel consumption and toxic emissions between electric hybrid buses and buses with diesel engine, because the last one is the principal mode of public transportation in Mexico City and Metropolitan.

Introducción

En la Ciudad de México los problemas de contaminación se empezaron a atacar en forma aislada y desordenada, sin tomar en consideración los efectos producidos por las eventuales soluciones; en el terreno de los combustibles se puso en práctica la introducción de aditivos, catalizadores y dispositivos a los cuales se les atribuían efectos casi milagrosos porque se presumía que quitaban el humo, favorecían una mejor combustión y hasta aumentaban el rendimiento de los consumos.

[1] UAM-A, Av. San Pablo 180, Azcapotzalco, 02200, México, D.F. tel. 53189049. Correo: rsca@correo.azc.uam.mx.

Se planteó el uso restringido del automóvil de manera voluntaria, después, la media se hizo obligatoria de manera temporal y terminó haciéndose permanente, lo que dio pie a que los automovilistas compraran otro auto para no quedarse sin el uso habitual del mismo, con lo que aumentó el uso de gasolina y lo que se pretendía resolver, en realidad se agravó. En el campo de los combustibles alternos poco se ha conseguido en virtud de que todo se concentró en el uso del gas LP cuya mayor demanda ha causado el aumento de precio, con repercusión en el presupuesto de las amas de casa pero de todos modos no resuelve el problema de contaminación global originado por el bióxido de carbono.

El vehículo eléctrico y el de celdas de hidrógeno corresponden al campo de los vehículos con cero emisiones, aunque habrá que tener en consideración todo lo que se requiere y se produce al generar la energía eléctrica y el hidrógeno para llegar a conocer la eficiencia total por el uso de esos vehículos. El rendimiento asociado a los motores eléctricos es superior al de los motores de combustión interna (por encima del 80%) y presentan una mejor regulación al par y velocidad por estar controlados electrónicamente. No obstante, tienen el inconveniente del elevado peso de las baterías, lo que reduce ostensiblemente la carga útil ligada al bajo rendimiento a causa de la pobre densidad energética. Los estudios continuados y los avances logrados permiten asegurar una gran aceptación de este tipo de vehículos, aunque no en el futuro cercano. Los vehículos eléctricos a corto plazo van incrementando su cuota de mercado en una forma significativa como son los vehículos de reparto y vehículos de correos. Para el uso particular únicamente se verá una pequeña penetración en áreas urbanas con grandes problemas en la calidad del aire, para lo cual se deben promulgar medidas que favorecen el interés del usuario para que adquiera esa tecnología. Se puede decir que el Vehículo Eléctrico no será un serio competidor de los vehículos con motores de combustión interna, pero si lo podrá ser el vehículo híbrido.

Un sistema de transportación eficiente repercute positivamente en la productividad social e individual de los habitantes de la ciudad. Es necesario revisar tanto el sistema de transporte como el producto mismo o vehículo que traslada a las personas. En particular, como ya se asentó, una de las demandas prioritarias de la Ciudad de México tiene que ver con la problemática de la calidad del aire, que en forma prioritaria es propiciada por un sistema de transporte ineficiente y de vehículos altamente contaminantes. Las cifras que se conocen lo revelan. El 75% del total de la contaminación es producto de las emisiones son generadas por el transporte del cual, el 47.7% lo generan los automóviles particulares que transportan únicamente el 16.8% de la población. El resto es trasladado por el transporte público de pasajeros que representa el 39.7%. Con base en las cifras consignadas queda claro que el transporte público contamina en alto porcentaje pero transporta a la mayoría de la población en el orden del 72%.

Identificación de opciones tecnológicas

Un vehículo híbrido eléctrico lleva dos tipos motores, uno eléctrico y el otro de combustión interna. El motor de combustión interna es rentable pero contamina. El vehículo eléctrico es limpio, sin embargo carece del suficiente empuje y la autonomía es limitada. Razón por la cual viene a la idea el uso de un vehículo híbrido que, asociando estos dos modos de propulsión, conjunta sus ventajas. En la ciudad, el motor eléctrico suministra la potencia al vehículo, sin embargo cuando se requiere de un poco mas de potencia, el motor de combustión interna acoplado a un generador eléctrico toma el relevo, suministrando una parte de la energía al banco de baterías recargándolo. Un sistema electrónico llamado “supervisor” decide automáticamente el paso de un modo de propulsión al otro o los dos al mismo tiempo; toma en cuenta una serie de parámetros (velocidad del vehículo y estado de carga del banco de baterías entre otros) a fin de que el consumo de combustible sea lo más pequeño posible, implicando así una reducción en la emisión de gases contaminantes.

Aunado a esto el autobús híbrido tiene frenado regenerativo que permite recuperar eficientemente gran parte de la energía para enviarla al banco de baterías; este sistema contribuye a mejorar la eficiencia del tren motriz. Es por ello que es necesario considerar la eficiencia total y las emisiones.

Las opciones que ofrece un sistema híbrido, de acuerdo al combustible que se utiliza el motor de combustión interna del sistema son: Diesel – Eléctrico, Gas (GNC, NL, LP)- Eléctrico y Gasolina-Eléctrico.

En el caso de los que utilizan Gas Natural Comprimido (NC), el peso extra de los tanques de gas comprimido le restan capacidad de traslado de pasajeros y aumentan significativamente el peso del vehículo, con esto disminuye su eficiencia comparativa con otros combustibles así como aumenta el daño a las vialidades por donde circula; en el Gas Natural Licuado (NL) el alto costo de el sistema de almacenaje (criogénico) aumenta el costo del vehículo, en ambos casos los gastos de infraestructura y la disponibilidad del gas es de tomarse en cuenta como factor negativo para la incorporación de híbridos con Gas Natural, en el caso del Gas Licuado de Petróleo (LP), su principal problema es el de seguridad. Los Híbridos Diesel Eléctrico, representan la opción mas equilibrada entre eficiencia del motor, consumo de combustible - costo del motor - duración, así como emisiones contaminantes menores con respecto a los híbridos que utilizan motores a gasolina, sin los inconvenientes de los propulsados con Gas NC, NL o LP. Un buen diseño los vehículos híbridos pueden reducir en buena medida la contaminación ambiental con respecto a los vehículos

actuales. Este tipo de vehículos producirá varias veces más contaminación ambiental que el vehículo eléctrico. Los primeros híbridos que salieron al mercado redujeron las emisiones de los contaminantes globales de un tercio a la mitad. Los últimos modelos se espera que tengan aún menor cantidad de este tipo de emisiones. Los precios de los híbridos serán competitivos, cuando se tome la suma de todos los costos durante la vida del vehículo. Aunque el costo inicial de la unidad es elevado, a largo plazo se ve el beneficio de los bajos costos de operación. Con la combinación de combustible y energía eléctrica, los híbridos tendrán el mismo o mayor rango operacional que los motores de combustión interna convencionales. Con un solo tanque de combustible de capacidad normal se pueden llegar a recorrer más de 350 km. Para el operador, los hibridos ofrecen un comportamiento igual o mejor al de los autobuses convencionales.

Emisión de contaminantes

En virtud de que se debe establecer el grado relativo de afectación de los diversos contaminantes arrojados por el tubo de escape de los motores de combustión interna y por el uso de los vehículos en circulación y reposo, conviene saber cuales son esos compuestos para que se les pueda determinar los coeficientes de ponderación sobre la influencia contaminante en la Ciudad de México y Zona Conurbada. Lo que se conoce como contaminación del aire puede ser más inquietante. Nos encontramos a la mitad de la revolución química, en donde 65,000 compuestos comerciales entran al medio ambiente cada año. Algunos han probado ser cancerigenos y otros muchos se sospecha que lo sean. Con todo, sólo ocho químicos se han podido clasificar como peligrosos y son regulados desde sus fuentes por la EPA [1].

Contaminantes globales son los compuestos que se mezclan con los elementos naturales de la atmósfera (oxígeno y nitrógeno) y causan desequilibrios térmicos sobre la superficie terrestre debido al efecto de invernadero que producen, el cual a la vez altera el equilibrio de los ecosistemas. Existen varios contaminantes globales, pero para el proyecto de los autobuses híbridos, solamente interesa considerar el bióxido de carbono (CO_2) y el gas Metano (CH_4). El CO_2 ha sido identificado como gas invernadero porque contribuye al calentamiento terrestre.

Contaminantes locales son emisiones producidas por la combustión de motores de combustión interna y por hornos industriales. Para el establecimiento de los factores de ponderación se consideran los óxidos de nitrógeno (NOx), el monóxido de carbono (CO), los compuestos volátiles no metano (COVNM), las partículas y los óxidos de azufre (SOx). El CO desplaza las proteínas de la hemoglobina en la corriente sanguínea que causa disminución de oxigeno a los órganos vitales, como el cerebro; su exposición prolongada causa dolores de cabeza, agotamiento fisiológico severo y bajo ciertas circunstancias, la muerte. El NOx y el SOx son gases que, combinados con la humedad atmosférica, producen ácidos como el sulfúrico y nítrico que luego se dispersan en el medio ambiente, a través de la neblina y de la lluvia. Los depósitos ácidos (lluvia y neblina) son dañinos al suelo y sistemas acuíferos porque el balance del PH. Los resultados que se producen se reflejan en pérdidas y daños a la agricultura, a los bosques y a la vida acuática (peces y plantas). Estas emisiones también producen formación de nitratos y sulfatos que ocasionan reducción de la visibilidad e impedimentos en la respiración. La Ciudad de México sufre la exposición de estos depósitos ácidos. Los hidrocarburos (HC) y el NOx, son gases que al combinarse en presencia de la luz solar forman oxidantes fotoquímicos (SMOG) en la atmósfera. El smog está asociado con incrementos graves de los males en los sistemas cardiovascular y respiratorio; se ha descubierto que favorece la incidencia de bronquitis, enfisema pulmonar y cáncer, según varios estudios epidemiológicos de Salud Pública. Los ejercicios al "aire libre" para escolares, se suspenden unas 100 veces al año, se ha comprobado que resulta pernicioso para las plantas y árboles, por que les afecta la respiración y fotosíntesis, daña las hojas de las plantas en los campos de cultivos, reduciendo la calidad y el tamaño de las cosechas, y en algunos casos ocasiona la muerte de las plantas.

Las partículas en suspensión (PM) son respirables, es decir, rápidamente inhaladas y asimiladas en el sistema respiratorio. Contienen substancias cancerígenas y mutantes genéticos, que contribuyen además a la degradación de la visibilidad. Las partículas constituyen una seria amenaza para la salud pública, debido a la tendencia que tienen al depositarse en el tracto respiratorio, resultando en dificultades para respirar. Las partículas son portadoras de innumerables compuestos tóxicos que son la causa bien conocida de numerosos impactos adversos a la salud pública. Las partículas también se adhieren a la superficie de las hojas de las plantas, impidiéndoles respirar y efectuar la fotosíntesis. Los contaminantes tóxicos del aire plantean un serio riesgo para la salud pública. La evaluación y control de los contaminantes tóxicos del aire, es relativamente un área nueva de investigación.

La Ciudad de México está situada en un valle muy extenso rodeado de cerros y de montañas, en donde la dirección predominante de los vientos proviene del Nor-noroeste y se dirige hacia el sur, donde el viento contaminado golpea contra la cordillera del Ajusco, propiciando que allí se concentre la mayor cantidad de contaminantes producida dentro de una extensa zona industrial del Estado de México y por el numeroso parque vehicular que transita por todas las áreas de la gran ciudad y su zona conurbada. Durante mucho

tiempo la contaminación que ha caracterizado a la Ciudad de México es la que produce el smog fotoquímico u ozono, y en menor cuantía por partículas, monóxido de carbono y óxido de azufre. Este último ha tenido descensos significativos en virtud de los esfuerzos que ha emprendido PEMEX al desulfurizar los combustibles. Las tareas que se deben emprender en la Ciudad de México para llegar a satisfacer los estándares de la calidad del aire deben ordenarse en el sentido de controlar primeramente el smog fotoquímico, después el monóxido de carbono y las partículas; los óxidos de azufre, ya se encuentran controlados de manera importante por las refinerías de petróleo.

Se sabe que el smog fotoquímico se forma en la atmósfera con la participación de tres elementos que son: el NOx, los compuestos orgánicos volátiles no metano (COVNM) y la luz solar. Sin entrar en detalles, el NOx se produce en el interior de los cilindros de los motores de combustión interna, los COVNM son arrojados por el tubo de escape, los tanques de combustible mal sellados y los motores de los vehículos. La luz solar favorece la reacción de los compuestos mencionados para producir ozono o smog. Al reducir la participación del NOx y los COVNM se conseguirá mantener el ozono dentro de los valores aceptables. A esto se debe que los factores de ponderación de esos compuestos sean los más elevados, ver Tabla 1. Hasta cierto límite, el control de los NOx y del CO se consigue manteniendo a los motores en buen estado de funcionamiento mediante afinaciones bien realizadas. Los COVNM dependen de la formulación de las gasolinas y también del estado de funcionamiento de los vehículos. Para el control de NOx, COVNM y CO juega un papel de primerísima importancia el convertidor catalítico, cuyo uso es por tanto recomendable. Las partículas son arrojadas por todos los motores de combustión interna, especialmente los que consumen diesel. El control de las mismas se consigue afinando los motores con el uso de combustibles de calidad y con trampas colocadas en los tubos de escape de los motores.

Definición de corredores.

Existen tres elementos básicos para la definición de un corredor de transporte a saber:

1. Vía continua, con gran capacidad de tránsito vehicular;
2. Demanda de transporte de gran intensidad generada en la zona de influencia del corredor;
3. Sistema de transporte público de mediana y alta capacidad.

Los Corredores metropolitanos son los ubicados en la ZMVM; como resultado del Estudio Integral de Transporte y Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México, realizado por la Comisión Metropolitana de Transportes y Vialidad [2], en coordinación con la Comisión Ambiental Metropolitana [3], se identificaron los 14 corredores [4]. Los atributos considerados para la elección del corredor metropolitano se presentan en la Tabla 3.

Determinación del patrón de comparación de vehículos

De acuerdo con los vehículos en uso, las necesidades del servicio y las características generales de las unidades existentes de híbridos analizadas en este estudio, se comparan de manera equilibrada en cuanto a sus características generales, se determino que actualmente no hay en producción nacional vehículos a diesel con características homólogas a los híbridos, por lo tanto se considero un vehículo tipo Autobus urbano producido por la empresa MASA de configuración motor trasero y control delantero, 12 metros de largo, con capacidad para transportar 100 pasajeros, de construcción integral (monocasco sin chasis), con una altura de suelo a piso del autobus no mayor de 850 mm, con un motor Diesel turbo cargado de 275 Hp, con un Precio por Unidad de US $ 120,000.00, consumo de combustible 1.9 Km/l que cumpla con la norma EPA 98 [1], con las emisiones contaminantes que se presentan en la Tabla 2.

Tabla 1. Factores de ponderación

Contaminantes	Factor de ponderación
CO2	1
CH4	21
NOx	0.80
COVNM	1.00
CO	0.50
Partículas	0.35
SOx	0.20

Tabla 2. Emisiones Contaminantes

	Toneladas por Kilometro	g/km
CO2	2.02E-03	2022.75
CH4	1.75E-06	1.75
COVNM	2.60E-06	2.60
CO	7.10E-06	7.10
NOX	1.26E-05	12.64
PST	7.90E-07	0.79
SOX	5.00E-07	2.60

Tabla 3. Vector Objetivo para el Corredor Metropolitano

ATRIBUTO	VALOR
Longitud del corredor (promedio).	Longitud promedio 17.0 km.
Velocidad de recorrido promedio.	> a 30 Km/hora
Tipo de arteria	III Categoría funcional suburbana
Nivel de Servicio	C
Calificación del pavimento	2.6 (promedio)
Costo de operación	Costo promedio 145,613.07 $/h.

Los Corredores locales son los ubicados dentro de la zona geográfica que abarca el Distrito Federal; con base en la información que presenta el estudio sobre los principales corredores de Transporte realizado por la Dirección General de Planeación y Proyectos de la STV [5] se determinaron los más representativos para el Servicio Público de Transporte de Pasajeros. Para este caso los atributos considerados para efectuar la elección, son: Longitud del corredor, Oferta de servicio (que incluya el Servicio de Transportes Eléctricos), Demanda de transporte (Pasajeros por día), Tasa de ocupación, Tasa de sustitución de vehículos de menor capacidad por autobuses.

Características fisicas de la ruta y condiciones de operación, selección del corredor

La primera etapa del proceso permite precisar un conjunto de vialidades susceptibles de participar en la elección final, al definir lo que se debe entender por corredor de transporte, esto implica una selección previa que permite reducir los requerimientos de información respecto a la red vial, permitiendo concentrar la atención en la obtención de información relativa a aquellos rubros que implican mayor tiempo, esfuerzo y costo únicamente para aquellas vialidades que tienen alguna oportunidad de ser elegidas.

La metodología aplicada se basa en la determinación de un conjunto de tramos viales que reúnan ciertas características acordes con lo que se debe considerar como un corredor de transporte, y a su calificación con relación a un conjunto de criterios que se clasifican en tres grupos básicos: infraestructura, operación vial y servicio de transporte, lo cual se realiza conforme al proceso que se observa en la Figura 1.

La evaluación a que se refiere esta segunda etapa en el proceso de selección consiste en la asignación de calificaciones a cada corredor elegible, con respecto a un conjunto de atributos, a partir de los cuales se establece el objetivo al cual deberán de acercarse los candidatos más idóneos para la elección, Tabla 4.

Por razones operativas se asigna una mayor ponderación al requisito de que en el corredor susceptible de seleccionar se encuentre operando el organismo Servicio de Transportes Eléctricos o la red de autobuses que opera el Gobierno del Distrito Federal. De acuerdo con los resultado obtenidos en la evaluación, el corredor cuyas calificaciones se aproximan más al vector objetivo son las de la Avenida de los Insurgentes, en su tramo comprendido de San Pedro Mártir (Villa Olímpica) al Metro Indios Verdes, en el cual se encuentra operando el servicio de autobuses articulados que presta el organismo Servicio de Transportes Eléctricos, que fungirá como operador de los autobuses híbridos en la fase demostrativa del proyecto.

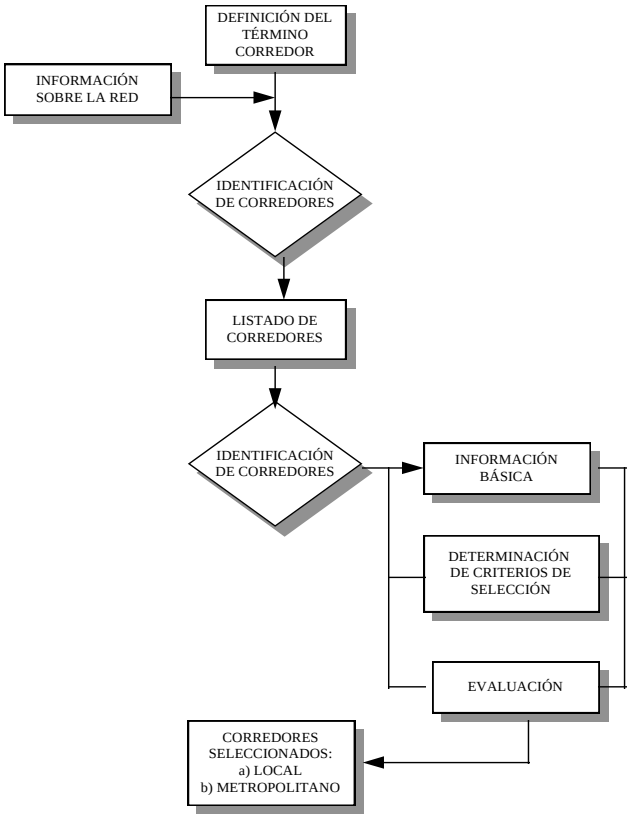


Fig. 1. Diagrama de flujo de la metodología de selección de corredores viales.

Tabla 4. Calificación de Corredores Metropolitanos [4].

N°	CORREDOR	Long. km.	Velocidad en HMD Sentido	Vel	NS	Calif Pavimento	Tipo de Arteria	Costo de Operación $/h
1	Insurgentes Norte - Vía Morelos	23.3	N-S	33.2	C	2.56	II	306,704
			S-N	35.0	C	2.71		
2	Av. 608 - Carlos Hank Gonzáles	22.5	N-S	32.6	C	2.71	III	138,713
			S-N	39.8	C	2.68		
3	Autopista México – Querétaro	19.7	N-S	31.6	D	2.79	I	276,522
			S-N	27.9	D	2.80		
4	Ejes 1 y 2 Oriente – Centenario	9.9	N-S	25.4	C	2.28	III	102,716
			S-N	21.8	C	2.25		
5	Av. Mario Colín-(Tlalnepantla-Tenayuca)	12.5	E-O	23.5	C	2.86	III	60,083
			O-E	30.1	C	2.76		
6	Aquiles Serdán - Marina Nacional	10.9	N-S	26.3	C	2.62	III	103,615
			S-N	26.9	C	2.61		
7	Constituyentes-Carr. Federal (México-Toluca)	18.1	E-O	43.2	B	2.80	II	90,298
			O-E	51.5	A	2.80		
8	Cien Metros - Vallejo - Toluca -Del Durazno	14.7	N-S	32.6	A	2.60	III	149,401
			S-N	34.8	A	2.50		
9	Río San Joaquín	5.9	E-O	18.6	D	2.75	III	45,264
			O-E	18.5	D	2.76		
10	Carretera federal México – Texcoco	22.7	N-S	45.9	B	2.27	II	179,405
			S-N	44.4	B	2.43		
11	Carr. Federal México – Puebla	15.0	N-S	39.3	B	2.60	II	133,144
			S-N	38.9	B	2.20		
13	Calz. Ignacio Zaragoza - Autopista (México - Puebla)	27.3	E-O	42.2	C	2.85	I	237,470
			O-E	44.6	C	3.08		
14	Periférico Nor – Poniente	18.3	N-S	34.5	B	2.76	III	69,635
			S-N	28.6	C	2.84		

De acuerdo a las calificaciones asignadas a cada uno de los atributos considerados en la evaluación, el corredor que se aproxima más al vector objetivo es el de la Avenida de los Insurgentes, en su tramo comprendido de Indios Verdes y su continuación sobre Vía Morelos (área sombreada de la Tabla 4). En virtud de la problemática que representa en el contexto Metropolitano operar una ruta piloto con origen o destino en el Estado de México se seleccionó por sus características de operación en términos de oferta, demanda, características físicas y topográficas, prestadores del servicio que operan en el corredor y posibilidad de comparar los resultados respecto al proyecto de vehículos energizados con motor de celdas de hidrogeno, el corredor de la Avenida de los Insurgentes, en su tramo que va del Metro Indios Verdes a San Pedro Mártir (Villa Olímpica). El programa demostrativo en el corredor antes mencionado se efectuará en un periodo de cinco años, con un parque vehicular de 20 autobuses híbridos, que serán operados por la empresa paraestatal Servicio de Transportes Eléctricos. De acuerdo con los estudios realizados por la Secretaría de Transportes y Vialidad [5] a este corredor, actualmente la demanda atendida diariamente asciende a un total de 183,388 pasajeros, los cuales se reparten entre los diferentes modos de transporte como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Participación de empresas en la atención de la demanda del Corredor de Insurgentes

Prestador del Servicio	Unidades Registradas*	No. de Vueltas por Unidad	Pasajeros por Vuelta	Pasajeros Transportados por Día
Consejo de Incautación.	21	7	122	17,934
Servicio de Transportes Eléctricos.	17	4	236	18,044
Colectivo Ruta 1.	65	10	33	21,450
Colectivo Ruta 2.	200*	6.95	91	125,960
Total				183,388

*Se consideran unidades tipo microbús.

De lo anterior se desprende que la empresa paraestatal Servicio de Transportes Eléctricos actualmente participa en el corredor seleccionado atendiendo una demanda de 18,044 pasajeros diariamente, con una flota vehicular, compuesta por 17 autobuses articulados, con capacidad de 170 pasajeros. El promedio de pasajeros transportados por unidad para esta empresa es de 1,061.4, el cual resulta bajo, considerando que el parámetro de rendimiento para autobuses normales es de 1,000 a 1,200 pasajeros por día; en tanto que para autobuses de dos pisos (comparables a los articulados), el parámetro es de entre 1,500 y 1,800 pasajeros por autobús [6], esto implica un bajo nivel de aprovechamiento del parque vehicular de STE en dicho corredor, la introducción de autobuses normales en sustitución de los articulados le permitirá alcanzar una mayor eficiencia, al darse un promedio de 902.2 pasajeros por autobús considerando un parque vehicular de 20 unidades. Se muestra una fuerte competencia en diversos tramos del corredor, debido a la confluencia de varios prestadores del servicio, principalmente con vehículos de baja capacidad, que no permiten optimizar el aprovechamiento de la vialidad, situación que deberá mejorar en lo futuro mediante la sustitución de microbuses por autobuses.

Considerando como estrategia aplicar un programa de sustitución gradual de unidades del Servicio Público de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal por autobuses híbridos, que considere inicialmente el parque vehicular de las empresas de transporte que opera el Gobierno del Distrito Federal, paralelamente implementar un programa de construcción y comercialización masiva de vehículos híbridos, sustitución del parque vehicular de los concesionarios, y finalmente de las rutas del Estado de México con destino al Distrito Federal (rutas metropolitanas), se presenta el siguiente escenario de sustitución de unidades: La demanda en el Distrito Federal es atendida en su conjunto, con un parque vehicular de un total de 29,575 vehículos de combustión interna, entre los cuales 22,887 son microbuses con motor a gasolina con capacidad de 22 pasajeros por vehículo, 2,637 son autobuses con motor a diesel, de 9 a 12 metros de largo, 4,051 son combis con motor a gasolina, con capacidad de 9 a 12 metros. Para la sustitución de microbuses y autobuses se sustituye un autobús híbrido por cada autobus a diesel y se sustituye un autobús híbrido por cada 2.5 microbuses. De lo anterior se concluye una demanda potencial de 11,792 vehículos híbridos para ser sustituidos en el Distrito Federal, sin considerar los requerimientos del Estado de México en sus recorridos metropolitanos, donde se estima un parque vehicular actual en operación de 20,000 unidades entre autobuses, microbuses y combis.

Aspectos económicos y financieros

El análisis económico y financiero del proyecto de incorporación de vehículos híbridos al servicio público de transporte de pasajeros en el Distrito Federal y su Zona Metropolitana, se realizó considerando únicamente hasta la fase demostrativa que abarca un periodo de cinco años, en el cual se pretende poner a prueba un

parque vehicular de 20 autobuses híbridos, comparándolos con vehículos convencionales a diesel, en cuanto a su desempeño, tomando en cuenta que operarán en el corredor seleccionado, esto es en la Avenida de los Insurgentes, en el tramo comprendido de Villa Olímpica al Metro Indios Verdes. El procedimiento que se siguió es el del Análisis de Costo – Efectividad desarrollado por el Banco Mundial[6].

Previamente al análisis económico y financiero se define la base de comparación, así como las alternativas de inversión a considerar en el estudio, en este caso se han definido como base los vehículos con motor a diesel que cumplen la norma EPA 98 [1]. El paso siguiente es el análisis de costos tanto de la base como de las alternativas de inversión, para cual se consideraron los parámetros de rendimiento y vida útil proporcionados por los fabricantes de los vehículos híbridos y a diesel, así como las características físicas y de operación de la ruta, como son la longitud, el número de vueltas, el parque vehicular en servicio y el kilometraje recorrido en promedio al día. Se toman en cuenta también las necesidades de organización y capacitación del personal que se encargará de la explotación del servicio. El análisis realizado clasifica los costos del proyecto en inversiones, las cuales son aplicables a los cinco años del horizonte del periodo de prueba, y en los costos de operación, que son los que se relacionan con el funcionamiento y operación del parque vehicular, así como en la administración del servicio, los cuales se estiman sobre una base anual, para posteriormente extrapolarse a precios constantes a cada uno de los años del periodo de prueba. Con los datos de los costos y de las emisiones contaminantes se calculan los valores presentes netos de los montos anuales, descontando las cantidades correspondientes a cada uno de ellos por la tasa interna de retorno social. Los cálculos del valor presente neto de los contaminantes se realizan por separado para el caso de los elementos locales y globales, por lo que posteriormente el análisis de costo–efectividad se realiza para ambos grupos de contaminantes.

Con el valor presente neto de los costos se calculan los costos económicos adicionales, que son la diferencia entre el valor presente neto de los flujos de costo de proyecto (incluyendo inversión y costos de operación) de cada una de las alternativas en evaluación, con relación al costo de la base (o línea base). Así mismo, se calcula el cambio en el valor presente neto de los contaminantes de cada alternativa comparando con el valor presente neto de los contaminantes calculado para la base. Una vez calculados los costos económicos adicionales y el cambio en el valor presente neto de los contaminantes, tanto locales como globales, se estima el indicador de costo – efectividad, el cual es cociente del costo sobre el cambio neto en contaminantes. Con base en este indicador el valor más positivo representará la mejor opción de inversión. Finalmente, el costo incremental está representado por la diferencia entre el valor presente neto del costo de proyecto de la mejor alternativa de inversión determinada mediante el indicador de costo – efectividad, y el costo de proyecto de la base. Dicho costo incremental se determinó en el presente estudio a precios constantes y considerando el valor del dinero en el tiempo a valor presente.

El análisis de costos se realizó con base en los datos de rendimiento y vida útil del vehículo y sus partes, para todas las alternativas consideradas en el presente estudio, esto incluye los microbuses con motores a gasolina, que representan la mayor parte del parque vehicular con que actualmente se presta el Servicio Público de Transporte de Pasajeros en la zona Metropolitana de la Ciudad de México; incluye también los autobuses con motores a diesel que satisfacen la norma EPA 98 [1], ya que éstos representan la opción más inmediata de sustitución de los microbuses; así mismo se considera el conjunto de vehículos híbridos seleccionados. Los costos de proyecto calculados para cada una de las alternativas de inversión y para la línea base se registran en la Tabla 6.

Requisitos establecidos para los vehículos de transporte de pasajeros del Distrito Federal.

En cuanto a las Emisiones Contaminantes deberá ajustarse al Programa de Verificación Vehicular Obligatoria [7], Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente [8]: 15, 19 fracción XII, 32 Bis, fracciones I, III, VII, XX, XXI, y demás relativas de la Ley Orgánica de la Administración Pública del Estado de México [9]; 1°, 2°, 5°, fracción III, 11, 15 fracciones I, III VIII, IX, X, XXIII, XXXIV, XXXVI, XXXVII, 91, 113, 116, 119 al 125, 154 y 162 fracciones V, VI y VII, 164 fracción V, 165 fracción III, 166, fracción I, 168, 171, 172 Y 182 de la Ley Ambiental del Distrito Federal [10]; 1°, 2° fracción VIII, 5°, 6° fracciones VIII, XIII, XXIV y XXXV, 85 segundo párrafo, 86, 87 fracción II, 88, 91 fracción III, 92, 94 fracciones V, X y 95 de la Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México[11]. Dentro de los anteriores ordenamientos ecológicos **Para la Prevención y Control de la Contaminación generada por vehículos automotores que circulan por el Distrito Federal y los Municipios de su Zona Conurbada** mencionados, se considera el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas en materia ambiental para vehiculos automotores [12,13,14,15,16,17].

En el aspecto de características de los autobuses híbridos, éstos deberán cumplir con los ordenamientos legales y normativos para el Distrito Federal: Referentes a las Características técnicas, de comodidad y seguridad, a lo que dicta el Reglamento para El Servicio de Transporte de Pasajeros en el Distrito Federal [18], Capitulo Séptimo, Sección II De los Vehículos en su Artículo 56 y, que a la letra dice: El parque

vehicular de cada modalidad, deberá apegarse en su construcción y operación, al Manual de Lineamientos Técnicos de Seguridad, Comodidad y Ambiente [19], Normas Oficiales Mexicanas[12,13,14,15,16,17] y demás disposiciones aplicables vigentes.

Conclusión y discusión

En términos de costo - efectividad, la operación de vehículos híbridos en la ZMVM es factible, para la segunda etapa que corresponde a la fase demostrativa, se recomienda que estos vehículos se prueben en el corredor Insurgentes, Metro Indios Verdes – Villa Olímpica, ya que es un corredor representativo en términos de oferta y demanda, en el que actualmente operan unidades articuladas y biarticuladas con motor a diesel del Metrobús.

Tabla 6. Resumen de Costos de Proyecto (dólares)

CONCEPTO	AUTOBUSES HÍBRIDOS				GNC	DIESEL	GASOLINA (microbús)
	SKI+A38	Marco Polo	TRANSTEQ	ORION			
Inversiones.	8,068,265.8	6,068,265.8	11,668,265.8	11,668,265.8	3,250,000.0	2,664,800.0	350,000.0
Equipamiento e infraestructura	8,018,265.8	6,018,265.8	11,618,265.8	11,618,265.8	3,200,000.0	2,664,800.0	300,000.0
Estudios	50,000.0	50,000.0	50,000.0	50,000.0	50,000.0		50,000.0
Costo anual de operación	1,572,781.5	1,611,467.0	1,701,190.7	1,911,451.2	1,073,408.5	1,218,308.6	2,183,687.4
Combustible.	303,155.7	122,020.1	287,564.9	198,004.3	126,461.2	295,417.2	707,897.9
Sueldos y salarios	710,905.3	710,905.3	710,905.3	710,905.3	700,294.7	700,294.7	1,167,157.9
Diversos conceptos.	558,720.6	778,541.6	702,720.6	1,002,541.6	246,652.6	222,596.6	308,631.6
Costo de operación 5 años	7,863,907.6	8,057,335.1	8,505,953.7	9,557,255.8	5,367,042.7	6,091,542.9	10,918,436.9
Costo del proyecto (valores constantes)	15,932,173.4	14,125,600.9	20,174,219.5	21,225,521.6	8,617,042.7	8,756,342.9	11,268,436.9

El costo incremental asciende a $5.4 millones de dólares que representa el 38.5 % de los costos totales del proyecto durante la fase demostrativa. Cantidad que deberá ser apoyado por un fondo de financiamiento externo.

En relación a las principales barreras a superar en la fase de introducción de vehículos híbridos en la ZMVM en el mediano y largo plazo, se observa que estas son mayores en los Servicios Metropolitanos del Estado de México, por lo que se recomienda iniciar el programa de sustitución en el Distrito Federal en primera instancia con los servicio de transporte del Gobierno del Distrito Federal (STE y RTP), posteriormente extenderlo al servicio concesionado del DF y del Estado de México mediante el establecimiento y aplicación de un programa de sustitución para unidades que considere los aspectos de dar obligatoriedad a la medida por parte de las Autoridades Normativas del Transporte en la ZMVM e integrar el vehículo híbrido al mercado nacional para abatir costos tomando en cuenta el interés que existe de parte del fabricante de autobuses en México DINA quién está desarrollando un prototipo junto con la UAM-A y WEG; establecer esquemas de financiamiento accesibles para los transportista y apoyarlos mediante programas de capacitación y asistencia técnica para que mejoren el nivel de sus organizaciones y/o se constituyan en empresas.

Finalmente el gobierno del D.F. implementó la primer ruta de metrobuses en el corredor Indios Verdes – Monumento al Caminero, con autobuses articulados que circulan en carrilesconfinados y con estaciones que afectan las vías, generando más contaminación y a mayor costo que la propuesta acá presentada.

Referencias

[1] EPA, 1998. U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Stationary Source Control Techniques Document for Fine Particulate Matter," EPA-452/R-97-001, Research Triangle Park, NC., October.
[2] Comisión Metropolitana de Transportes y Vialidad (COMETRAVI), Secretaría de Comunicaciones y Transportes y los Gobiernos del Estado de México y del Distrito Federal, México
[3] Comisión Ambiental Metropolitana (CAM), Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, México
[4] Gobierno del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México, COMETRAVI, "Estudio Integral de Transporte y Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México", México 1999, Tomo 1
[5] Secretaría de Transportes y Vialidad, Dirección General de Planeación y Proyectos, "Estudio del Corredor de Insurgentes", México 2000.
[6] Documento Técnico del Banco Mundial, No. 52S, "Sistemas de Transporte Público Urbano", Washington D.C. 1987Norma Oficial Méxicana, NOM-044-ECOL-1003, Secretaria de Comercio y Fomento Industria.
[7] Programa de Verificación Vehicular Obligatoria, SMA del Distrito Federal, México

[8] Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente: *http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148.pdf*
[9] Ley Orgánica de la Administración Pública del Estado de México: *http://www.transparencianaucalpan.gob.mx/transparencia/marcojuridico/ley/Ley%20Organica%20de%20la%20Administracion%20Publica%20del%20Estado%20de%20Mexi.pdf*
[10] Ley Ambiental del Distrito Federal: *http://www.sma.df.gob.mx/sma/download/archivos/ley_ambiental_distrito_federal.pdf*
[11] Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México: *http://enj.org/portal/biblioteca/penal/derecho_penal_ambiental/49.pdf*
[12] Norma Oficial Méxicana, NOM- 045-ECOL-1996, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial
[13] Norma Oficial Méxicana, NOM-050-ECOL-1993, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial
[14] Norma Oficial Méxicana, NOM-076-ECOL-1995, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial
[15] Norma oficial Méxicana, NOM-077-ECOL-1995, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial
[16] Norma oficial Méxicana, NOM-121-ECOL-1997, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial
[17] Norma oficial Méxicana, NOM-079-ECOL-1994, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial
[18] Reglamento para El Servicio de Transporte de Pasajeros en el Distrito Federal: *http://www.paot.org.mx/centro/reglamentos/df/pdf/transportedepasajeros.pdf*
[19] Manual de Lineamientos Técnicos de Seguridad, Comodidad y Ambiente, Secretaría de Transportes y vialidad del Distrito Federal, México.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 95. Volumen 4(1), 6 páginas.

COCINAS SOLARES DE INTERIOR

Manuel Gordon Sánchez[1], Geraldine López Ganem, Hilario Terrés Peña, y José Contreras Larios

Resumen

El concepto de cocinas solares de interiores elimina el inconveniente de operación en la intemperie, por lo que su popularidad no es alta, pues la cocina propiamente dicha se ubica bajo techo en el interior de la casa habitación. El calor generado con la energía solar debe conducirse y/o almacenarse hacia/en el interior de la casa; si sus rayos concentrados se enfocan debajo de la superficie metálica que contiene a los alimentos y/o para calentar un fluido térmico tal como aceite de transformador eléctrico o algún aceite térmico que trabajan con temperaturas hasta de 300$_o$C. Una cocina solar de interior se ha desarrollado en esta Universidad donde se calienta un aceite térmico en un circuito termosifónico solar, almacenándolo caliente en un recipiente metálico cerrado sobre el cual se realizan las operaciones de cocción de los alimentos; éstas pueden ser de cocido al vapor, freir huevos, carnes, pescado, y hornear si se incluye un horno sobre el almacén térmico. Otro sistema de cocina solar de interior es el que opera con hidrógeno combustible generador por electrólisis del agua con energía eléctrica fotovoltaica. Aunque aún hace falta gran cantidad de trabajo experimental al respecto, este sistema puede ser adecuado para la cocción de alimentos en zonas urbanas como alternativa a los sistemas convencionales con hidrocarburos o resistencias eléctricas. Los resultados obtenidos a la fecha nos reportan bajas eficiencias energéticas y altos costos de instalación, los que se pueden mejorar optimizando la producción de hidrógeno y esperando que continúe la tendencia a la baja de los costos de las celdas fotovoltaicas. Las ventajas de este sistema son el alto poder calorífico del hidrógeno, la limpieza del proceso de combustión del mismo que genera vapor de agua con el oxígeno separado en la electrólisis fotovoltaica del agua, y por consecuencia la no contaminación del interior con gases tales como el monóxido y dióxido de carbono.

Palabras clave: cocina solar, estufa solar, horno solar.

Summary

The concept of solar cookers for indoor operation eliminates the inconvenience of the weather, because the kitchen itself is located indoors within the household. The heat from solar energy should be conducted and/or stored to/inside the house if their concentrated rays are focused beneath the metal surface that contains food and/or to heat a thermal fluid such as oil of transformers working with temperatures up to 300$_o$C. A solar cooker has been developed in this University where a thermal oil is heated in a solar thermosyphon circuit, storing hot in a closed metal container on which operations are performed cooking of food, they can be steamed, frying eggs, meat, fish, food if you include a device type oven on the store. Another set of inner solar cooker operate with hydrogen fuel generator for water electrolysis with photovoltaic power. Although still lacking large amount of experimental work in this regard, this system may be suitable for cooking in urban areas as an alternative to conventional hydrocarbon on electrical resistance. The results obtained to date we reported low efficiency and high installation costs, which can be improved by optimizing the production of hydrogen and hoping that the trend towards lower cost solar cells. The advantages of this system are the high calorific value of hydrogen, the clean combustion process itself that generates steam to separate oxygen photovoltaic water electrolysis, and therefore no pollution of the interior with gases such as monoxide and carbon dioxide.

Palabras clave: Solar Cooker, Solar Oven

Antecedentes

La cocción de alimentos mediante la energía solar es una de las aplicaciones de esta fuente renovable de energía que más ha tardado en difundirse [1], a pesar de la gran cantidad de pruebas demostrativas satisfactorias. Se sabe que uno de los inconvenientes es que las cocinas solares deben operarse en la intemperie, al sol y durante horas del día con radiación suficiente. La aceptación reportada durante muchos años no es la esperada y los dispositivos que se han distribuido en las zonas rurales de países en desarrollo muchas veces han terminado olvidados o adecuados para otros usos.

[1] Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Avenida San Pablo No. 180, Colonia Reynosa Tamaulipas, México D.F. Teléfono y Fax: (55) 53 18 90 58. Correo electrónico: mgs@correo.azc.uam.mx

Sin embargo, puede ser que lo más importante en la aplicación de la energía solar para el cocido de alimentos sea la optimización de la captación de radiación solar, la conversión de esta energía en útil, la optimización de los procesos y costumbres de cocimiento, y la conservación de la temperatura en los alimentos durante el día.

En todos los procesos de cocción, el alimento primero debe llevarse hasta la temperatura de cocimiento; se debe mantener a esta temperatura por un período suficiente para lograr un efectivo ablandamiento, secado, descomposición, coagulación, separación, concentración u otro cambio requerido. Las cantidades de calor necesarias para la mayoría de estos cambios físicos y químicos involucrados en el cocimiento, son pequeñas.

Los calores químicos de reacción o conversión son poco importantes en comparación con el calor requerido para aumentar la temperatura del alimento y con las pérdidas de calor que normalmente ocurren durante el cocimiento. La mayoría de los alimentos contienen una alta proporción de agua; cuanto más alta sea la tasa de calor de entrada hacia el recipiente y al alimento (y a cualquier líquido adicional), más rápido se calentará el alimento hasta la temperatura de cocimiento. Entonces, con excepción de los procesos de cocimiento donde la vaporización de agua es una parte necesaria, la velocidad de cocimiento es prácticamente independiente de la tasa de calor siempre que se cubra las pérdidas térmicas.

La mayor pérdida de calor en el cocimiento usualmente es el calor consumido en evaporar el agua presente en el alimento o que se añadió para el cocimiento. Le sigue en importancia las pérdidas por convección desde los utensilios y paredes de la estufa. Si la fuente de energía tiene capacidad limitada, se vuelve importante el control de estas pérdidas empleando cubiertas sobre los utensilios, aislante sobre las cámaras de cocimiento y otros medios.

Una estufa solar debe proporcionar una producción equivalente al de una convencional, es decir, alrededor de 500 W hacia el recipiente u olla; si esto no se logra, debe aceptarse mayores tiempos de cocimiento, o menores cantidades de alimentos a cocer, o se deben establecer algunas prácticas para la conservación del calor.

Diseños de Estufas Solares de Interior

En la referencia [3] se encuentra el reporte de Oelher y Scheffler sobre una estufa de interior realizado con 47 pequeños espejos planos arreglados en forma parabólica de 7 m^2 con su foco fijo dentro de la casa, Fig.1. Este helióstato envía los rayos a través de una ventana en la pared de la cocina hacia un segundo concentrador pequeño colocado debajo de la olla de 80 a 100 litros de capacidad; la olla es aislada de sus alrededores y puede transportarse hacia una estufa con fuego, cuando la radiación solar es insuficiente. La potencia obtenida en abril y en Sudán fue de 1.4 kW con una irradiancia de 730 W/m2. Ellos han asesorado la construcción, instalación y operación de 60 unidades de éstas combinadas con estufas de combustión en Kenia, Sudán, Perú, Camerún, Alemania e India.

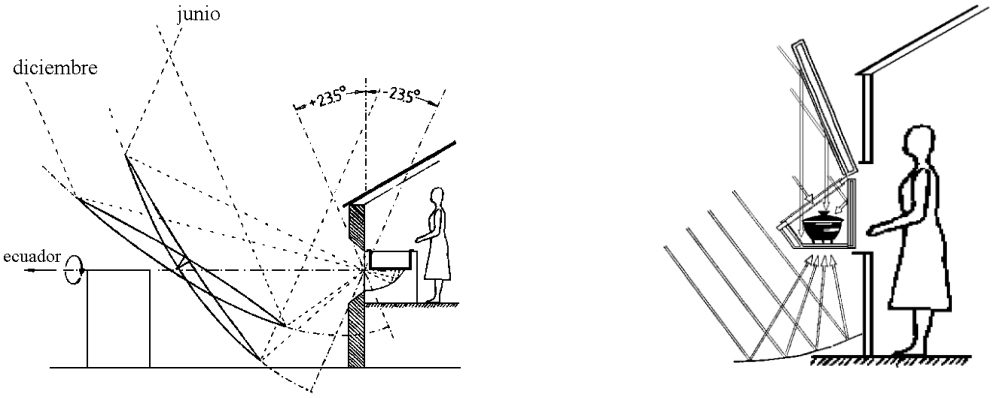


Fig. 1. Izquierda: cocina solar de interior. Derecha: similar a la anterior, con la cocina exterior.

Otro concepto de estufa de interior o a la sombra es el diseñado, construido y probado por H. E. Solís, mostrado en la Fig.2. Durante su operación el conjunto debe girarse cada 15 minutos en la dirección Este-Oeste, además de ajustar los espejos mediante los tirantes para que los reflejos siempre se dirijan a las bases de las ollas. La esbeltez del dispositivo lo hace poco estable lo que no fue obstáculo para lograr el cocido de alimentos.

En el Laboratorio Solar de la Universidad de Florida se ha desarrollado una estufa de interior [4] con un circuito forzado de aceite entre un concentrador canal parabólico y un almacén térmico; en éste, el aceite caliente cede calor hacia un material con cambio de fase; otra bomba mueve aceite en circuito cerrado entre este almacén térmico y la estufa propiamente dicha (hornilla). Los autores reportan temperaturas desde 100°C hasta 300°C bajo buenas condiciones de insolación, pero señalan las inconveniencias del seguimiento solar y del consumo de energía eléctrica para las dos bombas y el mantenimiento de éstas y del mecanismo de seguimiento. Una de las ventajas de este sistema es el que cuando se presentan nubes pasajeras hasta de una hora de duración, el almacén térmico respalda la demanda en todo momento.

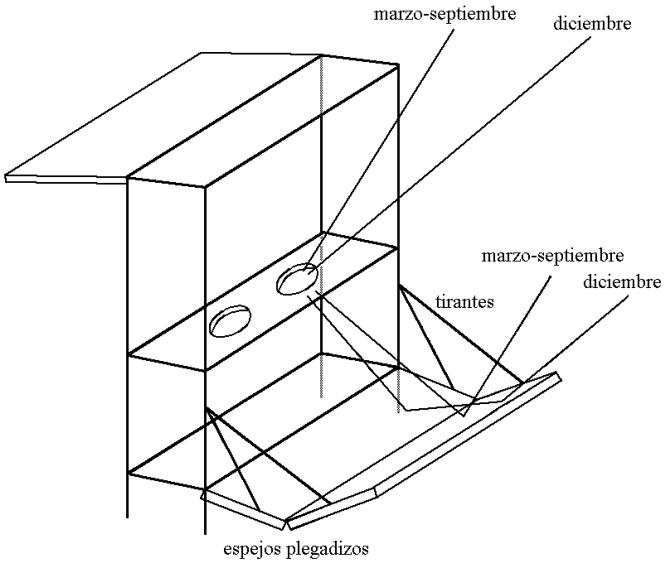


Fig.2. Croquis de una cocina solar a la sombra con reflectores inferiores plegables.

Una estufa de interiores es la concebida por uno de los autores, que comprende la captación de energía solar con CPC calentando aceite térmico; éste se conduce por circulación natural hacia el interior de la casa, como se ve en la Fig. 4, para alojarse en un tanque aislado colocado debajo de la plancha metálica a calentar. Aquí el aceite cede calor a la plancha y ésta a los alimentos colocados sobre ella; luego, el aceite debe regresar menos caliente hacia la parte inferior del captador. El tanque aislado es uno que debe trabajar como almacén térmico para que entregue calor a diversas horas del día y hasta en horas de la cena, por lo que su dimensionamiento está en función de estas exigencias y de la radiación solar disponible. Su aislamiento y cubierta son aspectos de suma importancia para la aceptable conservación del calor, y transmisión del mismo hacia los alimentos.

También la densidad y el calor específico del fluido de trabajo deben ser altos para minimizar el tamaño del almacén y maximizar la capacidad térmica disponible en el almacén.

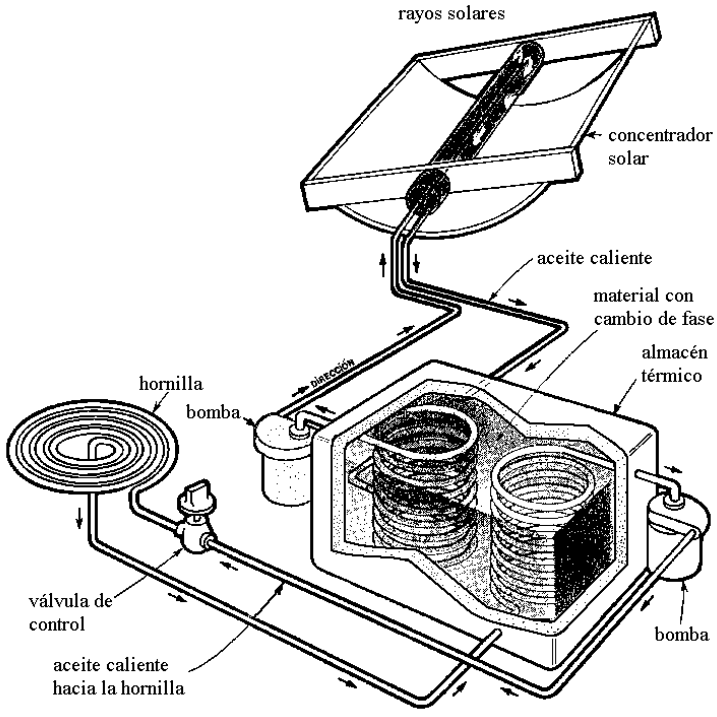


Fig. 3. Estufa de interior con almacén térmico con cambio de fase y circulación forzada de aceite térmico.

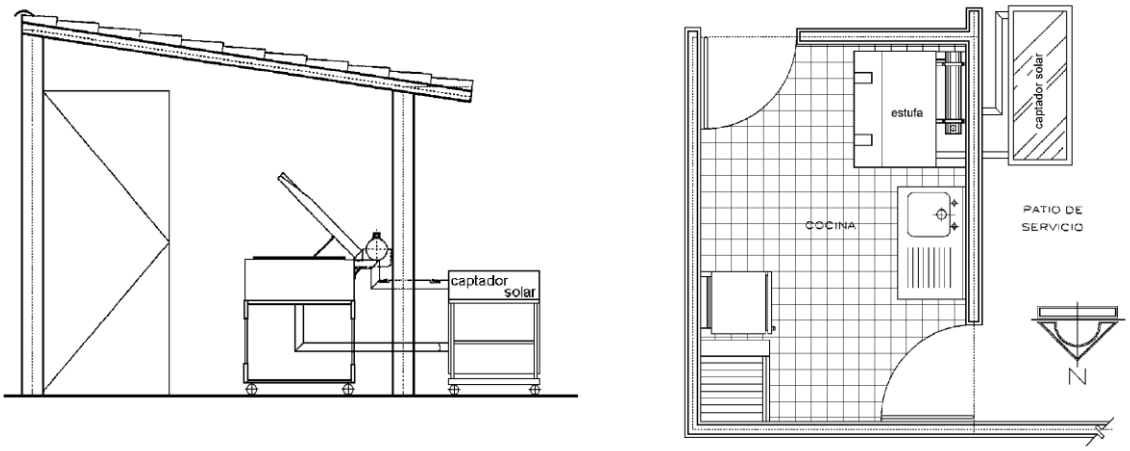


Fig.4. Esquema de la disposición de la estufa solar de interior con aceite en termosifón y almacén térmico. Izquierda, vista lateral. Derecha, vista de planta.

El fluido de trabajo es aceite térmico Mobil Oil 603 que posee baja viscosidad para asegurar la baja fricción que demanda la circulación termosifónica, además permite la transferencia de calor de manera efectiva, resiste a la descomposición térmica, es anticorrosivo, y tiene larga vida útil mientras se encuentre en el circuito hermético, sin contaminación, Fig. 5.

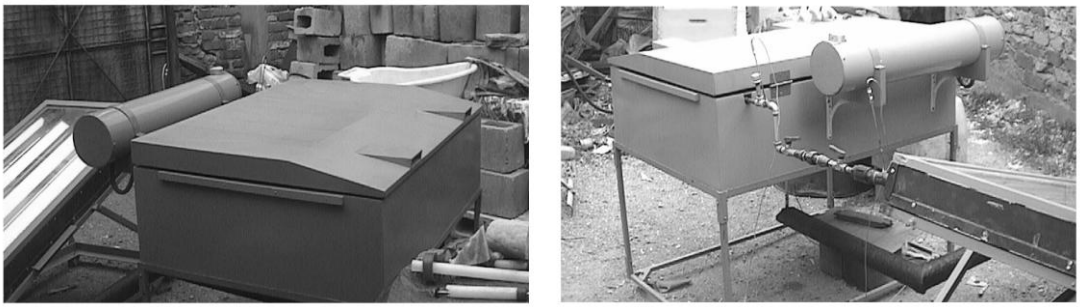


Fig.5. Dos vistas de la estufa de interior en termosifón con almacenamiento.

El rango de temperatura de diseño es entre 90 y 120°C con el captador compuesto de 4 canales CPC de 20 cm de apertura y 1.60 m de largo, para calentar alrededor de 60 litros de aceite térmico; esto da una capacidad energética de calentamiento a un volumen de comida equivalente a 10 litros de agua diariamente. Las dimensiones de la estufa compiten con las de una estufa convencional para facilitar la adaptación del usuario a ella, con una superficie de cocción instalada en una cavidad completamente aislada con tapa, y con un funcionamiento similar a un horno convencional.

Los resultados experimentales indican temperaturas tan bajas como 50°C hasta 95°C (Fig. 6), según las condiciones solarimétricas existentes. Una discusión sobre los resultados concluyen en lo siguiente [5, 6]: es inadecuado el circuito termosifónico tanto en diámetro del tubo como en longitud y colocaciones verticales de los componentes; es insuficiente el tamaño del captador para la demanda de la estufa, y se requiere una mayor concentración de radiación solar.

Con la idea de desarrollar un sistema módulos FV-celda electrolítica-gasómetro-quemador como una estufa solar de conversión fotovoltaica indirecta que opere con total autonomía, se han realizado pruebas experimentales sobre la generación de hidrógeno por electrólisis de agua con corriente eléctrica continua proveniente de un sistema solar fotovoltaico para su combustión en una estufa de interior [7]. Con dos módulos FV de 55 W_p cada uno, bajo la radiación solar anual de la Cd. de México, se alimenta una celda electrolítica construida con caja de polipropileno con adhesivo epóxico y electrodos apropiados. El hidrógeno y oxígeno separados del agua se recolectan con tubos que los conducen hacia depósitos separados. Estos son del tipo de campana flotante, es decir, dos cilindros uno invertido dentro de otro para burbujear los gases y se alojen con cierta presión en la cavidad superior encerrada (Fig. 7). De estas cavidades se conducen el H_2 y el O_2 para mezclarse antes de ingresar al quemador de la cocina o estufa de interior donde reaccionan generando más de 120 MJ/kg de H_2 o 10 kJ/litro de H_2 a 1 atm y 20°C.

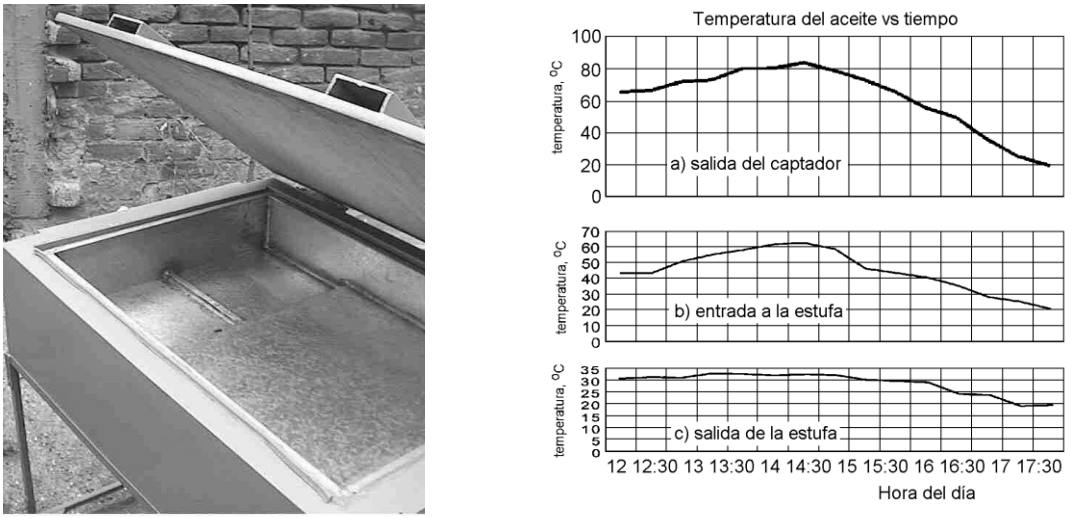


Fig.6. Izquierda: Vista de la superficie caliente de la estufa. Derecha: una muestra de la evolución de las temperaturas.

Al analizar la producción de hidrógeno a diferentes regímenes de carga fotovoltaica, en la cuba electrolítica se han obtenido bajas eficiencias de producción de hidrógeno, lo que combinado con la eficiencia de las celdas FV resulta alrededor de 3% de rendimiento energético total. Actualmente se está rediseñando geométricamente la celda electrolítica para evitar corrientes eléctricas parásitas que no llegan a participar en la separación del H_2 y O_2, y quizá incluir algún agente acelerador de la separación en un electrolito inocuo. En la primera etapa de este trabajo no se ha considerado necesario el almacenamiento eléctrico, pues sólo se estudian la generación de hidrógeno con electricidad FV, construcción y análisis del comportamiento de la celda electrolítica, diseño, construcción y prueba del sistema de almacenamiento del combustible, y selección y prueba del quemador.

Conclusiones

Las estufas de interior son un concepto que puede facilitar la propagación del empleo de la energía solar para la preparación de alimentos tanto en las zonas rurales como en las urbanas. Más que la intermitencia e impredecibilidad de la radiación solar, los mayores obstáculos encontrados son la incomodidad de operar a la intemperie y la tardanza en el cocimiento de los alimentos. Las estufas de interior con suficiente captación solar concentrada y almacenamiento térmico adecuado, pueden resolver los problemas mencionados.

Para mejorar el rendimiento, la energía absorbida por la(s) olla(s) ennegrecidas con superficie selectiva de maximizarse y minimizarse las pérdidas térmicas por convección, conducción y radiación hacia los alrededores. Las pérdidas térmicas del cocido húmedo se reducen cubriendo la olla para evitar las pérdidas evaporativas.

Las eficiencias alcanzadas con las estufas de interior desarrolladas por los autores van desde 30% hasta 60%, obtenidas del cociente de la energía útil de cocimiento y la energía solar captada. Este parámetro puede mejorarse modificando el manejo de los alimentos dentro de la estufa y adaptando dispositivos para evitar las pérdidas de calor por evaporación del agua contenida o añadida a los alimentos; estos pueden ser cubiertas plásticas sobre los alimentos.

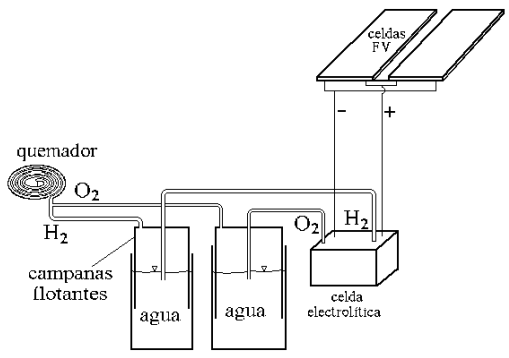


Fig.7. Esquema del arreglo solar FV, generador de H_2, su almacenamiento, y conducción hacia el quemador de la estufa de interior.

La generación, el manejo y la combustión del hidrógeno requiere de muchos cuidados y de mayor desarrollo tecnológico; algunas tecnologías prometedoras se deben experimentar en los centros de educación superior y de investigación aplicada.

Reconocimientos

Los trabajos sobre estufas solares son realizados por miembros del Grupo Solar de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, con fondos de la nación asignados por el Consejo Divisional de Ciencias Básicas e Ingeniería al Proyecto de Investigación *Desarrollo de Dispositivos Solares*. La participación de estudiantes de ingeniería es fundamental para el avance de estos trabajos.

Referencias

[1] Velasco R., Reyna G. y Gordon M. D. Limitaciones de una estufa solar para el cocido de alimentos. Reporte Interno de la Compañía CIEDAC, México. 1996.
[2] Garg H. P. y Prakash J. Solar Energy: Fundamentals and Applications. Ed. Tata McGraw Hill, New Delhi, 1997, p. 276.
[3] Oelher U. y Scheffler W. The use of indigenous materials for solar conversion, J. of Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 33, pp. 379-387. 1994.
[4] Beason R.G. Solar cooking turns practical, revista Mechanix Illustrated, pp. 32-34. Julio 1976.
[5] Solís H., Gordon M., Dodd J. y Rumbo O. Cocina solar de interior en termosifón con almacenamiento térmico. Trabajo ME7 en las Memorias del 2º Congreso Internacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas, IPN, Zacatenco, México, D.F., pp. 235-240, 25-29 Octubre 1999.
[6] Dodd J. G. y Rumbo O. Construcción y Prueba de una Cocina Solar de Interior con Almacenamiento Térmico. Proyecto Terminal (Tesis) de Ingeniería Mecánica. Universidad Autónoma Metropolitana -Azcapotzalco, México, D.F., 1998.
[7] Solís H. E., Barceló I. D., Gordon M. D., Palos J. y Hernández H. Diseño y construcción de una estufa solar por generación, almacenamiento y combustión de hidrógeno fotovoltaico, en las Memorias de la XXI Semana Nacional de Energía Solar, pp. 137-144, Chihuahua, México, 1-3 Octubre 1997.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 96. Volumen 4(1), 8 páginas.

DISPOSITIVOS SOLARES PARA LA INCUBACIÓN DE HUEVOS

Manuel Gordon Sánchez[1], José Luis Contreras Larios, Hilario Terrés Peña

Resumen

El proceso de incubación de huevos de gallina es uno que requiere de energía térmica de baja temperatura durante 21 días continuos; las 24 horas de cada uno de estos días, la temperatura, humedad y ventilación de la cámara de incubación deben mantenerse alrededor de 37°C y 80%, respectivamente. Se ha experimentado con varios sistemas térmicos solares para satisfacer las necesidades energéticas y de acondicionamiento que requiere este delicado proceso. La captación de energía solar tanto térmica como fotovoltaica, su almacenamiento, y el manejo del aire caliente y energía eléctrica son las características no convencionales de una incubadora solar. Una incubadora para 1000 huevos se realizó con calentadores solares de aire empacados con viruta metálica y envío forzado del aire caliente hacia un almacén térmico con piedras; éste es el proveedor de aire caliente hacia la cámara de incubación. Un siguiente prototipo comprende el calentamiento de agua con un sistema termosifónico donde el agua caliente se ubica alrededor de la cámara de incubación a manera de abrigo térmico de los huevos. En este diseño los controles de volteo de huevos y ventilación son manuales así como el de la temperatura interior. Otro prototipo de incubadora se diseñó, construyó y evaluó con calentamiento solar de agua en termosifón y calentamiento con cambio de fase de cera parafina contenida en latas de aluminio de desecho; aquí la radiación solar calienta y funde la cera sólida, ésta cede calor sensible y latente hacia el aire de la cámara de incubación, lo que se realiza a 57°C para la cera empleada; existe un gradiente de temperatura entre la cera y el aire de 20°C obteniéndose en la cámara de incubación alrededor de 37°C. Mediante el cambio de fase en el almacén térmico se ha logrado un mejor control natural de la temperatura del aire que rodea a los huevos.

Palabras clave: incubación solar, proceso térmico, nacedoras de pollos.

Summary

The process of incubation of chicken eggs is one requiring low temperature heat for 21 days continuous; 24 hours of each of these days the temperature, humidity and ventilation of the incubation chamber should be kept around 37°C and 80%, respectively. There has been several solar thermal systems to meet the energy needs and conditioning required in this delicate process. The uptake of solar thermal and photovoltaic, storage, and handling of hot air and electricity are non-conventional characteristics of a solar incubator. An incubator for 1000 eggs was made with solar air heaters packed with metal shavings and forced hot air shipment to a thermal store with stones, this is the provider of hot air into the incubation chamber. Another incubator prototype was design, built and evaluated with a water heating system where hot water thermosyphon located around the incubation chamber by way of thermal shelter of the eggs. In this design controls and flip eggs are manual ventilation and the indoor temperature. Then designed, built and tested another prototype solar heated domestic water circulation and heating phase change paraffin wax contained in cans of waste: here sunlight heats and melts the solid wax, it gives sensible and latent heat into the air chamber incubation, which takes place at 57°C for the wax used, there is a temperature gradient between the wax and the air of 20°C and the temperature obtained in the incubation chamber was around of 37°C. By changing the phase in the thermal store has a better natural control of the air temperature surrounding the eggs.

Keywords: Solar Incubation, Thermal Process, Breeding Chickens.

[1] Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Avenida San Pablo No. 180, Colonia Reynosa Tamaulipas, México D.F. Teléfono y Fax: (55) 53 18 90 58. Correo electrónico: mgs@correo.azc.uam.mx

Antecedentes

En 1978 en los Andes peruanos, Bérnard et al. [1] experimentaron con una incubadora solar con el fin de lograr un buen porcentaje de eclosiones en alturas de más de 4000 m sobre el nivel del mar; sus resultados fueron los primeros en esta aplicación de la energía solar para solucionar el problema de la alimentación en la sierra peruana. Desafortunadamente no se ha tenido continuidad y no existe otro antecedente similar, hasta los trabajos realizados por los autores en la Universidad Católica del Perú y hasta la fecha en la Universidad Autónoma Metropolitana de México [2-4]. Varios prototipos de incubadoras solares se han desarrollado desde 1992, los que incluyen captación fototérmica y/o captación fotovoltaica, almacenamiento térmico de calor sensible en piedras o agua, o de calor latente con cambio de fase de cera parafina, y manejo manual, semiautomático o completamente automático de las condiciones ambientales dentro de la incubadora.

Proceso de Incubación

La incubación de huevos para obtener pollos requiere energía térmica de baja calidad, aire ambiente a aproximadamente 37°C, durante 21 días las 24 horas de cada día; además requiere de la evacuación de los gases generados en su interior, de la humidificación del aire y es necesario proveer a los huevos de un movimiento de giro alternativo, lento y periódico de 45° alrededor de la posición vertical [5, 6]. La energía solar incidente puede aplicarse en el proceso para suministrar la necesaria para el calentamiento continuo, para la ventilación de la incubadora y para remover periódicamente los huevos de una posición inclinada a otra.

En los sistemas de conversión y/o utilización de energía se busca la concordancia en tiempo entre la disponibilidad de energía solar y la demanda de utilización; en el caso de una incubadora, la demanda de energía tanto térmica como eléctrica crece durante las noches, días nublados y fríos, no debiéndose interrumpir durante por lo menos los primeros 19 días; así, es necesaria alguna forma de almacenamiento de energía si no se desea o no se puede auxiliar al sistema con una fuente térmica y eléctrica convencional.

El aire en la cámara incubadora debe cambiarse cerca de 8 veces al día ó una vez cada tres horas, por lo menos. La humedad relativa debe encontrarse entre 50 y 60%. La temperatura óptima está entre 37.5 y 37.7^{o}C durante los primeros 19 días, y entre 36.1 y 37.2^{o}C durante los días 20 y 21 de incubación. No causa problemas la exposición máxima de embriones de 16 días de edad a una temperatura de: 40.6^{o}C por 24 horas, 43.3^{o}C por 4 horas, y 46.1^{o}C por 3 horas.

La ventilación de la cámara incubadora permite la respiración del embrión que produce CO_2. El límite de este gas es de 0.5% lo que se logra con la ventilación; en climas muy calurosos se debe aumentar el volumen de aire evacuado. Por lo contrario, la baja temperatura disminuye la liberación de CO_2 durante los primeros 6 días.

Desarrollo de Incubadoras Solares

Incubadora solar de gran capacidad

La energía solar convertida en térmica útil a aproximadamente la temperatura del captador T_c se emplea para satisfacer la demanda a una temperatura T_i mediante un sistema de ductos y con la unidad almacén, ver Fig. 1. Existe una serie de caídas de temperaturas generadas por pérdidas térmicas en el conjunto de ductos, en el almacén y finalmente al entregar aire caliente a la incubadora. Un objetivo de diseño del sistema es reducir esta serie de caídas de temperaturas a valores mínimos para así llevar a T_c hasta un valor cercano a la de la carga T_i y de esta manera hacer un sistema lo más económico y práctico posible.

Para respaldar varios días de servicio sin energía solar suficiente, días nublados continuos, se debe emplear un almacén lo suficientemente grande. Así, este sistema [7] consta de:

- Captadores solares tanto térmicos como fotovoltaicos. Los primeros calientan aire para el servicio; los módulos FV generan electricidad para los componentes eléctricos y el control electrónico.
- Un almacén térmico y otro eléctrico para acumular y ofrecer energía térmica a la incubadora y para alimentar corriente continua o directa a los motores.
- Una cámara incubadora para 1000 huevos, con seis charolas móviles accionadas por un motor CC pequeño; también tiene un ventilador en su fondo para ventilar la cámara evacuando CO_2 generado por los huevos y para tomar aire caliente desde el almacén térmico.
- Un sistema de ductos para conectar la incubadora con el almacén, y a éste con los captadores solares.

Los captadores tienen un recorrido en forma de U el cual sigue el aire que entra por la parte abierta de las unidades captadoras, de esta forma se va calentado hasta llegar al final del recorrido a través de cada captador, con mayor tiempo de residencia; totalizando 5 unidades de 1.22 m x 4.92 m, éstos ocupan una mayor área sobre el techo de la habitación donde se encuentra la incubadora misma; para evitar sombras de una unidad sobre otra, ellas se encuentran separadas una distancia igual a la elevación de la unidad, dada por

sus inclinaciones de 30° hacia el ecuador; posteriormente este aire caliente se conduce al almacén siendo impulsado por un ventilador colocado en la parte inferior del almacén térmico.

El almacén térmico está relleno de piedras y en su interior posee un recorrido por donde pasa el aire calentando simultáneamente las piedras para disponer de reserva térmica una vez que disminuya la insolación. La incubadora está colocada en el extremo opuesto del almacén; así se fuerza al aire a distribuirse y pasar por todo el almacén antes de llegar a la incubadora.

El paso del aire caliente del almacén a la incubadora se hace por un ducto donde, para controlar la temperatura en la incubadora, nos valemos de un ventilador en la entrada de ésta, controlado con un termostato; dicho ventilador se acciona cuando la temperatura llega a un mínimo predeterminado.

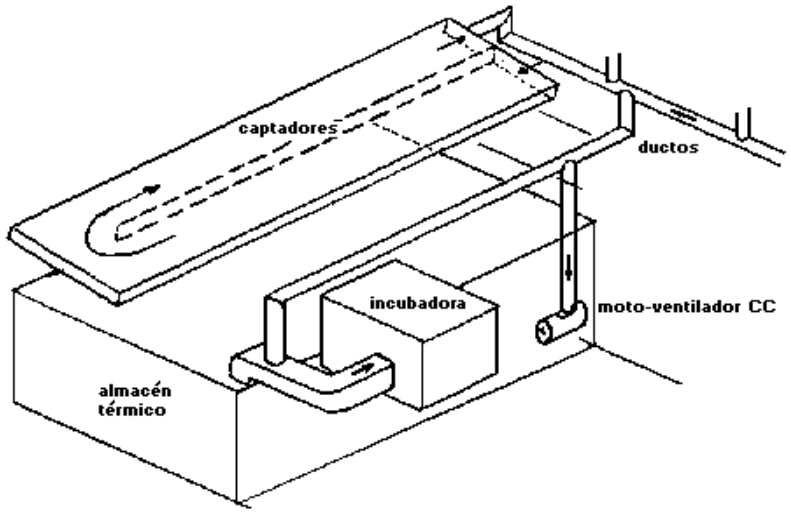


Fig.1. Esquema de la incubadora para 1000 huevos.

Con el propósito de establecer el tamaño de la incubadora se analizó la información de unidades comerciales. Las medidas interiores corresponden a una incubadora con capacidad para 1000 huevos: 76 cm x 91 cm x 65 cm. Una vez conocido el volumen interno de la incubadora se calculan las pérdidas de calor por las paredes de la misma, seleccionando un material aislante adecuado para las paredes, así como el espesor del mismo.

Este cálculo es la base para diseñar los demás elementos que integran el sistema incubadora solar; conociendo la cantidad de calor que demanda la cámara incubadora y otras pérdidas, se puede calcular el tamaño del almacén necesario y el área de captación solar.

El espesor y materiales de las paredes se determinaron en base a incubadoras comerciales incrementando el primero hasta 7.5 cm de espuma de poliestireno expandido (unicel) como aislante; el coeficiente global de pérdidas de calor resulta ser 1.5 $W/m^2.°C$ y, para una temperatura ambiente de la habitación de 15°C se obtiene una máxima demanda de 76 MJ durante 19 días.

Estableciendo para el sistema una autonomía de 10 días continuos, la demanda es de 38 MJ, los que deben provenir del almacén. El almacén térmico debe entregar 38 MJ a la incubadora y a lo más un 10% de su capacidad Q_a por pérdidas térmicas desde aquel; así, el 90% de la capacidad del almacén debe satisfacer los 38 MJ, luego, Q_a= 85 MJ.

Para el dimensionamiento del almacén térmico se considera la cantidad y tipo del material, la selección de aislante para satisfacer los criterios de comportamiento térmico, la proporción de la masa del almacén al área de captación, y factores económicos [8, 9].

Las simulaciones detalladas por computadora empleando cálculos horarios [7] han mostrado que sobre un cierto tamaño, cualquier incremento en la masa del almacén por unidad de área de captación prácticamente no tiene influencia en el comportamiento térmico anual del sistema. Estos resultados nos dan una regla práctica para dimensionar la unidad de almacenamiento térmico: $(mc)_g / A_c$ = 200 a 300 $kJ/m^2.°C$, donde m_g es la masa de la grava en el almacén en kg, c_g es el calor específico del mismo en kJ/kg.°C y, A_c es el área total de captación, m^2.

La cantidad de piedras se encuentra de: $Q_a = m_g c_g (T_M - T_m)$, donde T_M y T_m son las temperaturas máxima y mínima del almacén.

En la práctica, los lechos con piedras involucran un empaquetamiento de piedras irregulares; esto causa incertidumbre en la determinación de la fracción de vacío ε dentro del almacén. Para un lecho de piedras,

ε caerá entre 0.35 y 0.45 [10]. Esto se determina midiendo el volumen de vacío (por desplazamiento de agua) de una muestra representativa de piedras. En las regiones cerca a las paredes del lecho, la ε será mayor que en el lecho mismo; el efecto de lo cual es incrementar el flujo cerca de las paredes y crear un efecto de "by pass". Para minimizar este efecto también se debe cuidar que la menor medida del contenedor sea de 20 a 50 veces el tamaño de las piedras.

El volumen de almacén requerido para suministrar el total de aire caliente así como una cierta cantidad para suplir las pérdidas propias del sistema, para un período de tiempo dado, puede estimarse usando el siguiente balance de energía:

$$V_g = \frac{(calor\ demandado\ por\ la\ incubadora + pérdidas\ en\ ductos\ y\ almacén)\Delta t}{(\rho c)_g (1-\varepsilon)(T_M - T_m)} \quad (1)$$

donde V_g es el volumen de sólido en el almacén, y Δt es el lapso de tiempo que debe dar servicio térmico el almacén.

Se emplearon captadores empacados con viruta metálica puesto que son los de más alta eficiencia [11-13]; seleccionamos una eficiencia de 60% y con un valor conservador para la insolación de 200 W/m^2 durante 6 horas diarias se encuentra una área de captadores de 26 m^2. Se decidió emplear 30 m^2 en 5 unidades de 4.92 m de largo y 1.22 m de ancho con dos pasos del aire por una sección transversal de 122 cm por 15 cm de fondo empacados con 60 kg de viruta por cada m^3 de volumen del captador. Debido a las separaciones entre unidades, los ductos recolectores de aire caliente proveniente de los 5 módulos se extienden por casi 13 m hasta llegar a la entrada del almacén donde se ubica el motoventilador de 12 VCD.

El motoventilador debe ser capaz de impulsar 0.24 kg/s de aire contra una carga de 65 Pa; la potencia de éste resulta ser 40 W suponiendo una eficiencia del motor eléctrico de 60%. El ventilador instalado en la entrada de la incubadora es suficiente de 20 W. El volteo de las charolas con huevos opera con un motor de 6 W; los motores de las válvulas y el control electrónico no consumen apreciablemente. Con dos módulos FV de 48 W_p cada uno y dos acumuladores de 75 A-h se satisface la demanda eléctrica que suma 66 W.

En las incubadoras comerciales la temperatura adecuada se logra mediante el control de una resistencia calefactora y el cambio de posición y ventilación de los huevos mediante motores. Si bien estas incubadoras mantienen a sus variables en rangos permitidos, se puede concluir que consumen excesiva energía eléctrica. Se ha desarrollado un control central que cierra la comunicación de los captadores con el almacén cuando no haya suficiente radiación solar con el objeto de evitar que el almacén pierda energía; se vuelven a comunicar cuando exista insolación que caliente suficientemente a los captadores.

Incubadoras Solares Domésticas

Un prototipo de éstas es una incubadora solar de capacidad doméstica de 200 huevos, Fig.2; a continuación se presenta el proceso de cálculo simplificado para su dimensionamiento térmico solar [14, 15].

Cada huevo fértil en la incubadora demanda 0.5 W, ó menos, día y noche durante los 21 días del proceso; para 200 huevos en una incubadora, se tendrá una demanda de 100W {(0.5 W / huevo) x 200huevos} constantemente. Esta demanda durante las 24 horas de los 21 días totalizará un consumo de energía de:

$$100W\,x\frac{24horas}{1dia}x21dias = 50400\,Wh = 50.4\,kWh$$

Así, durante el período de incubación de 200 huevos, se debe disponer de 50.4 kWh.

La energía solar disponible promedio diario anual sobre la superficie horizontal en muchas regiones del país es de 5 kWh/m^2.día, la que en 21 días solares hace un total de 5 x 21 = 105 kWh/m^2. Cuando se inclinan los captadores un ángulo igual a la latitud del lugar de instalación, la superficie captadora de éstos recibe, en promedio, mayor radiación que la superficie horizontal, de 10 a 15% más. Así tendremos 105 x 1.1 = 115.5 kWh/m^2.

Los captadores solares para calentamiento de agua en circuito cerrado, con circulación natural llamados termosifón, convierten el 50% de la energía solar incidente en calentamiento del agua, y conservadoramente empleamos una eficiencia térmica de la incubadora de 50%; puesto que el calentador solar y la cámara de incubación son dispositivos colocados en serie, la eficiencia neta del conjunto será el producto de las eficiencias individuales: 0.5 x 0.5 = 0.25. Tendremos pues que, de los 115.5 kWh/m^2, sólo se aprovecha el 25% para la incubación, es decir 28.9 kWh/m^2; el resto de energía se pierde desde el captador solar, conexiones, tanque almacén con agua y aire evacuado durante la ventilación de la cámara incubadora. Así, la energía solar disponible neta a lo largo de 21 días, es 28.9 kWh/m^2.

Así, el área de captación solar debe ser por lo menos de:

$$A_c = \frac{50.4 kWh}{28.9 kW - h / m^2} = 1.75 m^2$$

Para la determinación del tamaño del tanque almacén con agua, lo que es lo mismo, de la cantidad de agua a calentar para satisfacer la demanda térmica de la incubación de 200 huevos, consideremos que tendremos sólo 9 horas de sol al día, ó 24 - 9 = 15 horas sin sol.

Si durante 21 x 24 horas = 504 horas totales de incubación se demandará 50.4 kWh, para las 315 horas nocturnas del período de incubación se requerirá tener disponible:

$$E_{ON} = \frac{315x50.4\ kWh}{504} = 31.5\ kWh$$

Entonces para cada una de las 21 noches (de 15 horas cada una), se requieren de 31.5/21 = 1.5 kWh/día. Esta cantidad de energía debe proveerse desde el almacenamiento térmico (agua caliente) hacia el aire y huevos en la cámara de incubación a 37°C.

Considerando que en la práctica, con la insolación mencionada, se puede alcanzar a temperaturas mayores de 60°C y que, para mantener una buena transferencia de calor desde el tanque almacén hacia los huevos, el agua no debe enfriarse a menos de 45°C, es decir 8°C sobre la temperatura requerida en la cámara, tendremos, de un balance de energía:

$$1.5\ \frac{kWh}{día} = Mc_p(60-45)^o C$$

donde M es la masa (kilogramos) de agua, c_p es el calor específico del agua, aproximadamente 4.2 kJ/kg.°C, y (60-45)°C es la disminución permisible de temperatura en el agua. Así:

$$M = \frac{1.5\frac{kWh}{dia}}{4.2\frac{kJ}{kg.^o C}x\frac{1h}{3600seg}(60-45)^o C} \approx 86 litros/dia$$

Optamos por tener 90 litros de agua calentados diariamente con un área de captadores de 2 m^2 (eficiencia = 50%) bajo una radiación solar promedio de 5.5 kWh/m^2.día sobre la superficie inclinada de los captadores.

Finalmente, también podemos determinar el lapso de tiempo t en que llegan a calentarse estos 90 litros de agua, desde 45°C al empezar el día solar, hasta por lo menos 60°C (Δ T = 60°C - 45°C = 15°C):

$$\frac{Mc_p\Delta T}{t(dias)} = 5.5\frac{kWh}{m^2.dia}x2m^2x0.5$$

de lo cual:

$$t = \frac{90kgx4.2\frac{kJ}{kg.^o C}x15^o Cx\frac{1h}{3600seg}}{5.5\frac{kWh}{m^2.dia}x2m^2x0.5} = 0.29dias = 6.9horas/dia$$

Entonces, el resto del tiempo en que hay sol (9 - 6.9) = 2.1 horas, el calentamiento que se logra en el agua, satisfará sobradamente la demanda térmica del proceso de incubación de 200 huevos durante las 9 horas diurnas con sol:

$$\frac{1}{2}\frac{W}{huevo}x200huevosx\frac{9horas}{dia} \le (0.5x0.5)x5500\frac{Wh}{m^2.dia}x2m^2x\frac{9horas}{24horas}$$

$$900\frac{Wh}{dia} < 1031\frac{Wh}{dia}$$

Al realizar las pruebas de operación térmica llevando a cabo un seguimiento de las temperaturas del captador solar, del almacén térmico con agua, de la cámara de incubación y su ventilación natural del aire interno, se obtienen buenos resultados, llegándose en días soleados a temperaturas hasta de 75°C y, con poca insolación a no menos de 50°C. El agua caliente del captador va calentando a la masa de agua del almacén térmico progresivamente hasta que éste alcanza temperaturas superiores a la necesaria en la cámara de incubación.

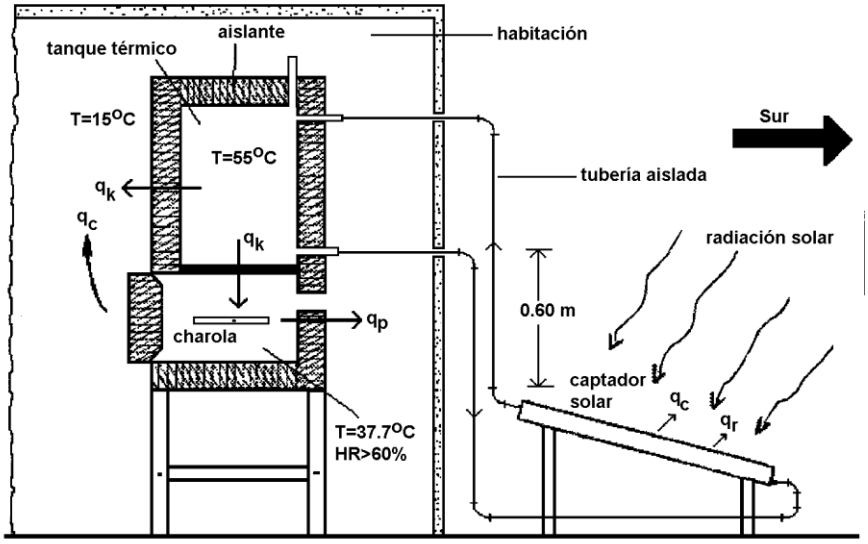


Fig.2. Un modelo innovador de incubadora solar para más de 200 huevos.

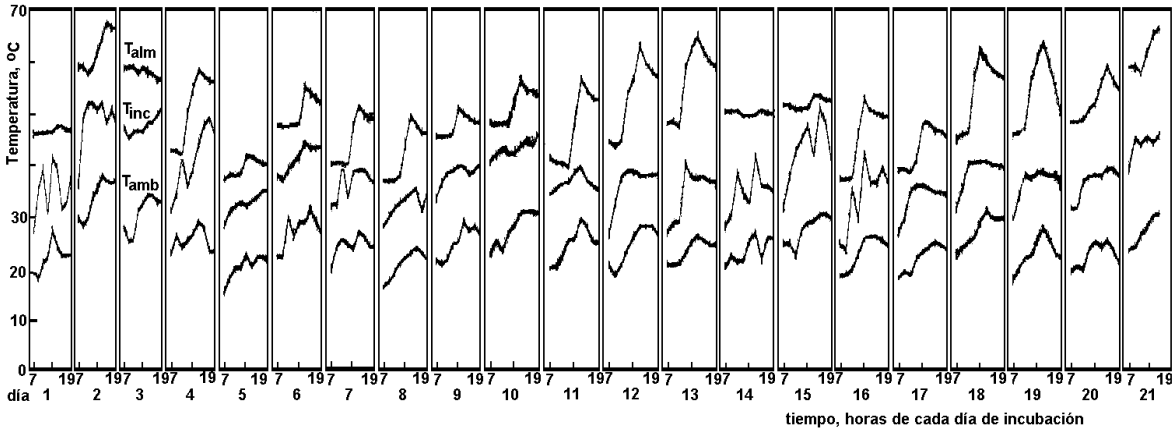


Fig. 3 Historia de las temperaturas del agua en el fondo del almacén térmico, del interior de la cámara de incubación, y del ambiente de la habitación donde se encuentra la incubadora.

Incubadora solardoméstica con almacén térmico con cera parafina

Una incubadora solar doméstica se equipó con un captador solar conteniendo cera parafina que funde a 57°C [16]. Conforme la radiación solar está incidiendo sobre la superficie absorbedora de los cilindros, su temperatura comienza a aumentar y, cuando ella alcanza el punto de fusión del material con cambio de fase (MCF), la zona de fusión se presenta justo debajo de la superficie absorbedora; el calor se transfiere hacia la zona aún sólida debajo de la anterior y parte del calor se disipa principalmente por convección hacia el aire de la cámara de incubación: El aislamiento térmico de ésta, por estar a la intemperie, es de 10 cm de espuma de poliestireno sellado contra la humedad.

La diferencia entre el captador solar de placa plana convencional y el sistema captador-almacén radica en que las "pérdidas" de calor en éste es el efecto combinado de calor perdido desde la cubierta y el calor ganado hacia el MCF y luego cedido hacia la cámara de incubación. Se encuentra que debe haber un compromiso entre el área de captación y el volumen o capacidad del almacén, pues la tasa de ganancia de energía útil puede llegar a ser menor que la tasa de pérdidas térmicas, y entonces el MCF comienza a solidificarse.

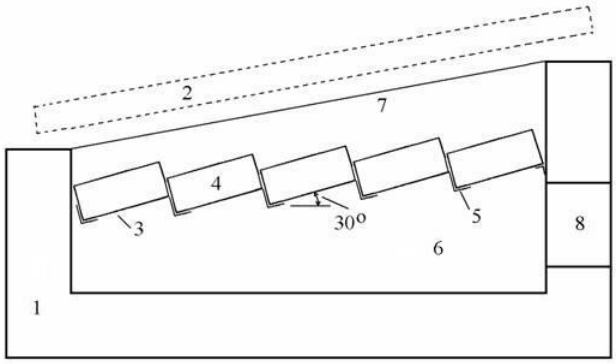
Cera parafínica ha sido ciclada en fusión y solidificación para almacenar calor a 57°C en cilindros inclinados cuyas superficies se ennegrecieron para absorber energía solar, dentro de un gabinete aislado térmicamente y cubierto con vidrio. Cuando se empacan 0.20 kg de viruta metálica por kg de cera, y cada noche se cubre con aislante para evitar enfriamiento nocturno, los resultados cuantitativos muestran las

siguientes características: cambio de fase completo, liberación del calor latente, comportamiento repetible sobre los ciclos de fusiónsolidificación, altas tasas de transferencia de calor interno, y solidificación uniforme.

El captador solar-almacén térmico con cambio de fase de cera mejora notablemente el control natural de la temperatura en el gabinete o cámara de incubación, y la extensión o tamaño del captador-almacén sólo depende del tamaño o capacidad de la incubadora. Para ésta a nivel doméstico de hasta 200 huevos, bajo la insolación promedio de la república mexicana, se requiere de 20 a 30 kg de cera parafínica distribuidos en el captador solar.

Los resultados de este estudio indican que la inclusión de viruta metálica en la cera contenida en el captador solar-almacén aumenta efectivamente las capacidades térmicas del sistema, y el empleo de latas de aluminio de desecho hace del captador y almacén un equipo de muy bajo costo. Esta disposición parece ser un dispositivo cuyo comportamiento térmico satisface las necesidades del proceso de incubación y otros como la calefacción de ambientes; la inclusión de un control de temperatura asegurará una variación de medio grado en la temperatura de la cámara.

El tamaño óptimo del almacén depende de la aplicación en cuestión y es una función de muchos factores acoplados, tales como los datos climatológicos, carga térmica y pérdidas de calor, área de captación y eficiencia, temperatura de almacenaje, pérdidas de calor desde el almacén, fracción solar de la carga térmica total, costos del medio de almacenaje, contenedor, costos de la energía auxiliar, etc.



1	aislante térmico	5	soporte
2	cubierta aislante para las noches	6	cámara
3	145 cilindros de aluminio de 6.5 cm diám. por 12 cm largo	7	vidrio de 3 mm
4	200 g de cera y 40 g de viruta en cada cilindro	8	acceso

Fig. 4 Fig.4. Esquema de la incubadora solar doméstica con cera parafina.

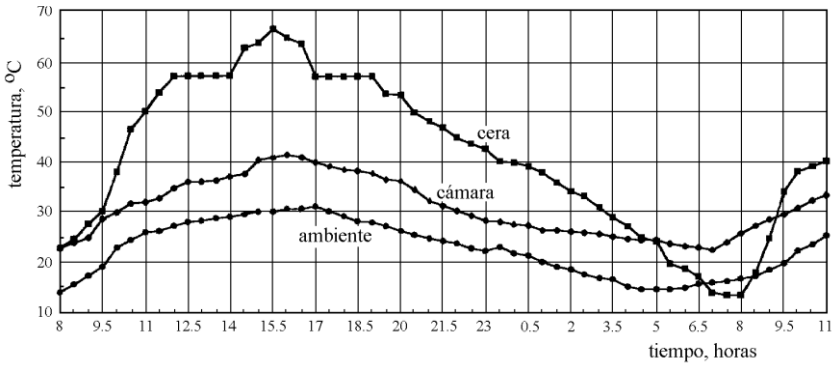


Fig.5. Evolución de las temperaturas en más de 24 horas.

Conclusiones

Se han diseñado incubadoras que operan con energía solar. Esto implica un ahorro considerable en comparación con una incubadora eléctrica convencional. Si se considera que para el calentamiento de una incubadora doméstica se consume 15 kWh al día, la alternativa solar resulta en una independencia de la electricidad convencional y en una amortización a mediano plazo.

Aun cuando hace falta optimizar las dimensiones de cada componente vía la experimentación, se ha demostrado la factibilidad de sostener una demanda energética de 21 días continuos empleando únicamente la energía solar.

Actualmente se llevan a cabo pruebas experimentales tanto térmicas como de incubación con una unidad doméstica semiautomatizada. Los resultados han sido halagadores, sin embargo hace falta más pruebas, ajustes y modificaciones para obtener una operación confiable y satisfactoria de los prototipos finales. Uno de los factores importantes para la incubación es la humedad del aire en la cámara; ésta penetra por los microporos del cascarón y evita la desecación del embrión. El control automático de la humedad no ha sido resuelto en forma fácil y económica; sin embargo ha resultado satisfactorio el colocar en el fondo de la cámara de incubación una charola o bandeja con agua suficiente para que se evapore durante el tiempo que dura la incubación. Ya que la evaporación del agua depende de la presión, temperatura y grado de saturación del aire, las humedades relativas obtenidas fluctuaron entre 50% y 80%, siendo deseable el mayor valor.

Referencias

[1] Bérnard C., Gobin D. y Gutiérrez M., Experimental Results of a Latent-heat solar-roof, Used for Breeding Chickens, J. of Solar Energy, Vol. 26, pp. 347-359, 1981.

[2] Arguello H., Barragán S., Franchini L. y Valdez G. Diseño, Construcción y Operación de una Incubadora Solar, Proyecto Terminal (Tesis) de Ingeniería Mecánica, Universidad Autónoma Metropolitana, México D.F., Mayo 1991.

[3] Almeraya R., Bautista D. y Popoca G. Diseño, Construcción y Evaluación de una Incubadora Solar Doméstica, Proyecto Terminal (Tesis) de Ingeniería Mecánica, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México D.F., 1995.

[4] Vázquez R. y Arroyo E. Automatización y Caracterización Experimental de una Incubadora Solar Doméstica, Proyecto Terminal (Tesis) de Ingenierías Mecánica y Física, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México D.F., 1999.

[5] North M. O., Manual de Producción Agrícola, Manual Moderno, 3a edición, 1984.

[6] Quintana, Avitecnia. Manejo de las Aves Domésticas más Comunes. Editorial Trillas, 1988.

[7] Gordon M. D., Díaz A., Solís H. E. y Magos M. Aplicación de la Energía Solar al Proceso de Incubación en la Avicultura. Reporte Interno de Investigación del Depto. Energía Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México, D. F., 1998.

[8] Coutier J.P. y Farber E.A. Designing Rockbeds as Storage Units for Solar Air Systems Using an Optimized Method Based on a Numerical Model. Memorias del Solar World Forum of the ISES Congress, Vol. 1, pp. 747-752, editado por D.O. Hall y J. Morton, Pergamon Press 1982, Brighton, Inglaterra, Agosto 23-28 1991.

[9] Sagara K. y Nakahara N. Thermal Performance and Pressure Drop of Rock beds with Large Storage Materials, J. of Solar Energy, Vol. 47, No. 3, pp. 157-163, 1991.

[10] Chandra P. y Willits D. H. Pressure Drop and Heat Transfer Characteristics of Air-rocked Thermal Storage Systems. J. of Solar Energy, Vol. 27, No. 6, pp. 547-553, 1981.

[11] Maldonado A., Calderón R., Díaz A. y Gordon M. D., Comportamiento de un calentador solar de aire con circulación forzada. Memorias de la XII Reunión Nacional de Energía Solar, pp. 39-43, Puebla, México, 5-7 Octubre 1988.

[12] Gordon M. D., Díaz A., López F. y Reynoso E. Comparación experimental de un calentador solar empacado con viruta metálica operado en circulación natural y forzada. Memorias de la XIII Reunión Nacional de Energía Solar, pp. 6-10, Morelia, México, 2-6 Octubre 1989.

[13] Murúa A., Villalobos G., Ruiz A., Gordon M. D. y Díaz A., Caracterización de un calentador solar de aire empacado con viruta. Memorias de la XIV Reunión Nacional de Energía Solar, pp. 23-26, La Paz, México, 1-5 Octubre 1990.

[14] Gordon M. D., Almeraya R. y Díaz A. Diseño, construcción y evaluación de una incubadora solar doméstica. Memorias de la XXI Reunión Nacional de Energía Solar, Chihuahua, México, 1-3 Octubre 1997.

[15] Gordon M. D., Vázquez R., Arroyo E. y Solís H., Comportamiento de una incubadora solar doméstica automatizada. Trabajo ME8 en las Memorias del 2º Congreso Internacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas, Instituto Politécnico Nacional, Zacatenco, México, D. F., pp. 241-248, 25-29 Octubre 1999.

[16] Gordon M. D., Solís H.E., Machuca A. y Rodríguez J. F. Almacén térmico solar con cera parafina. Trabajo ME6 en las Memorias del 2o Congreso Internacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas, Instituto Politécnico Nacional, Zacatenco, México, D. F., pp. 229-234, 25-29 Octubre1999.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 101. Volumen 4(1), 10 páginas.

REGULACION AUTOMATICA DEL SISTEMA DE ALIMENTACION DE BIOGAS DE UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA

Juan Guillermo Lira Cacho[1], Alex Contreras Paredes[2]

Resumen

En este artículo se presentan aspectos relacionados con la regulación automática del flujo másico de biogás en un motor estacionario de combustión interna de encendido por chispa (E.CH.) en función de la carga. Esta regulación se lleva a cabo con un reductor de presión para GLP modificado mediante la modelación matemática del sistema de alimentación de combustible. Se muestra la fundamentación teórica de este modelo a partir de ecuaciones fundamentales de la física, mecánica de fluidos y los gases ideales, aplicadas, principalmente, al regulador de presiones y al mezclador aire biogás. Se incluyen las curvas características de carga de un motor E.CH. de un grupo electrógeno de 50 kW de potencia a 1.800 RPM alimentado con biogás con una presión de suministro de 0,3 a 1 mbar.
Palabras clave: Biogás; motor de encendido por chispa, regulación automática, regulador de presión.

Summary

This article presents aspects of the automatic regulation of the flow rate of biogas in a stationary spark ignition internal combustion engine depending on the load. This regulation is accomplished with a pressure regulator for LPG modified by mathematical modeling of the fuel supply system. Shows the theoretical foundation of this model from fundamental equations of physics, fluid mechanics and the ideal gas, applied mainly to the pressure regulator and the biogas-air mixer. This work shows the experimental results carried out in a stationary engine of 50 kW at 1.800 RPM, with biogas supply to pressure of 0,3 to 1 mbar.
Keywords: Biogas, spark ignition engine, automatic regulation, pressure regulator.

Introducción

Ahora, que la humanidad siente los efectos del cambio climático, ya no basta con dejar de contaminar o hacerlo a menor ritmo. Nuestro deber urgente, es contribuir a la descontaminación del medio ambiente, mediante el desarrollo y aplicación de procesos ecológicos que ayuden a la naturaleza en su capacidad de renovación, función que por sí sola, ya no puede realizar, por el gran desbalance en las emisiones contaminantes antropogénicas.

Después del dióxido de carbono ($C0_2$), el metano (CH_4) ocupa el segundo lugar en cuanto a gases de efecto invernadero causados por las actividades humanas. El metano es 23 veces más eficaz para atrapar el calor dentro de la atmósfera que el CO_2.

En los últimos dos siglos, las concentraciones de metano en la atmósfera han aumentado en más del doble. Las concentraciones atmosféricas de CH_4 se determinan por el equilibrio entre los índices de ingreso y eliminación. Los índices de ingreso han aumentado debido a las actividades humanas, mientras que los índices de eliminación se determinan mediante la eficacia de los "sumideros", es decir, los sistemas que absorben o neutralizan un gas de efecto invernadero.

Por este nefasto desequilibrio del metano en la atmósfera, urge entonces el desarrollo e implementación de procesos de captación de metano, que resultan además, de mucho beneficio ambiental, energético y económico. En primer lugar, debido a que el metano es un gas de efecto invernadero potente y tiene una vida atmosférica corta, su captación puede producir importantes resultados a corto plazo. Por lo tanto, su recolección y utilización provee una valiosa fuente de energía de combustión limpia que mejora la calidad de vida en las comunidades locales y puede generar beneficios económicos.

[1] Instituto de Motores de Combustión Interna, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. E-mail: glira@uni.edu.pe
[2] Instituto de Motores de Combustión Interna, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. E-mail: a1cont@hotmail.com

Producir energía a partir del metano recuperado también puede evitar el uso de recursos de mayor emisión de energía, como la madera, el carbón o el petróleo. Esto puede reducir las emisiones de CO_2, SO_2, material particulado y otras sustancias tóxicas provenientes de los usuarios finales y las plantas generadoras de energía.

En el Perú, han sido las instituciones académicas, como la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima (UNI), y algunas organizaciones no gubernamentales, las que se han encargado de la investigación e implementación de estos sistemas de captación de metano, a partir de la descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos en recintos denominados biodigestores. En el Instituto de Motores de Combustión Interna de la UNI, ha prevalecido el interés, de desarrollar la tecnología, que permita utilizar el biogás, como fuente de energía limpia y sostenible.

A pesar de lo atractivo que es obtener energía mecánica o eléctrica a partir del biogás, esto no es tan sencillo debido principalmente a dos factores: la baja presión de suministro al motor (no más de 60 mbar) y al contenido de ácido sulfhídrico. El primer factor complica notablemente la regulación automática de la alimentación de biogás al motor en función de la carga; además, este tipo de sistema no se oferta en el mercado por lo que hay la necesidad de calcularlo, diseñarlo y construirlo especialmente.

Es precisamente, el motivo especial de esta publicación, dar a conocer los últimos y alentadores resultados obtenidos, en la utilización del biogás, como combustible exclusivo de un grupo electrógeno de 50 kW de potencia. Este nivel de generación de potencia eléctrica a partir del biogás, es probablemente uno de los mayores alcanzados en el Perú.

El biogás

El biogás es una mezcla de gases provenientes de la descomposición de materia orgánica realizada por acción bacteriana en condiciones anaeróbicas (en ausencia de oxígeno).

Los componentes principales del biogás son el metano y el dióxido de carbono, pero también se encuentran pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico (H_2S), hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, argón, monóxido de carbono (CO) y trazas de amoniaco (NH_3) [4, 6].

El poder calorífico y otras propiedades del biogás dependen de la cantidad de metano en el biogás (éste varía entre 50 y 80% en vol.), el cual a su vez depende del proceso de obtención y de la materia prima utilizada. Las propiedades físico-químicas del biogás utilizado, a condiciones estándares (101,3 kPa y 273 K), se muestran en la Tabla 1.

El ácido sulfhídrico (H_2S), contenido en el biogás (de 0,10 a 0,50%), es altamente corrosivo. Para algunos motores se especifica como límite máximo permitido 1.500 ppm (0,15% en vol.) [6]; por esta razón, es necesario el uso de filtros que disminuyan su concentración.

El biogás que se obtiene en una planta usualmente es saturado (humedad relativa de 100%), pero, dependiendo de la tubería de gas utilizada, esta humedad se reduce debido al enfriamiento. El condensado es retenido en trampas de agua, y el biogás se considera seco cuando ingresa al motor.

Sistema de alimentación de biogás

Funcionamiento del sistema

El biogás, proveniente del biodigestor, ingresa al sistema de alimentación del motor por la línea de suministro 12 (ver Fig. 1) y luego al regulador de presión 4 donde se dosifica la cantidad de gas que consume el motor en función de la carga. Antes que el gas ingrese al mezclador aire/gas 2, se mide la presión de suministro con el manómetro en "U" 9, y el caudal de gas con el flujómetro 8. El biogás ingresa al motor gracias a la succión que provoca el descenso de los pistones del motor durante la carrera de admisión, vacío que se incrementa cuando el aire, proveniente del filtro 3, pasa por la garganta del mezclador 2. Este vacío sirve también para succionar al diafragma del regulador 14 con lo que se abre el obturador 15.

Tabla 1. *Propiedades del biogás [4].*

Propiedad	Biogás (60% de CH_4)
• Poder calorífico inferior, MJ/m^3	21,6
• Densidad, kg/m^3	1,21
• Velocidad del frente de llama laminar, m/s	0,25
• Relación estequiométrica, en m^3/m^3	5,71
• Relación estequiométrica, en kg/kg	6,1
• Poder calorífico por unidad de volumen de mezcla (con λ =1), MJ/m^3	3,23
• Número de octano (método Research)	130*

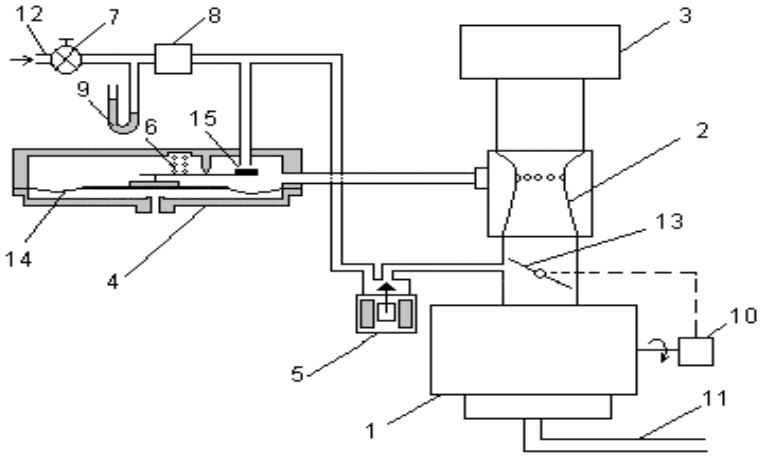


Fig. 1. *Esquema del sistema de alimentación de biogás.*

Para regular la cantidad de gas que ingresa al motor en el régimen de potencia máxima se utiliza el tornillo 7. Durante el arranque en frío del motor se abre la electroválvula 5 para derivar directamente el gas a la zona de alto vacío, delante de la válvula de mariposa 13.

La velocidad del motor se controla con el regulador centrífugo 10, el cual actúa sobre la válvula de mariposa 13 a través de un sistema de palancas.

Características principales del sistema de alimentación de biogás

Regulador-dosificador

El regulador-dosificador de biogás es el componente más importante del sistema de alimentación. Es un dispositivo neumático, que se encuentra ubicado entre la línea de suministro y el mezclador. Su función es regular con precisión la cantidad de biogás que ingresa al motor en función de la carga.

Debido a la baja presión manométrica de suministro del biogás, que no supera 20 mbar, este regulador es de una sola etapa. Con el objeto de reducir costos se modificó el regulador original del motor, de marca Impco, modelo 200, para gas natural y GLP, al cual se le eliminó la primera etapa (etapa de alta presión) y el calentador-vaporizador del gas, de tal forma que el biogás llega al reductor directamente, sin ninguna pérdida de presión. Para aumentar la sensibilidad de la regulación del caudal de gas se utilizó un resorte más blando (de 0,8 mm de diámetro del alambre).

Para determinar si era necesario hacer modificaciones al modelo original fue necesario hacer la modelación matemática del sistema (desde la línea de suministro hasta el mezclador inclusive, en la Fig. 1). En los párrafos siguientes se muestran los fundamentos teóricos de esta modelación.

En general, para garantizar el trabajo normal de un motor, los reductores se diseñan o seleccionan para el régimen nominal del motor [1,5], es decir, para el máximo caudal de gas (con la mínima presión de suministro). Los caudales de gas ($\dot{V}_g$) y aire ($\dot{V}_a$), en m^3/s, están relacionados con el caudal de la mezcla aire combustible ($\dot{V}_{mz}$) mediante las expresiones de la ecuación (1) [1,3,4].

$$\dot{V}_g = \frac{\dot{V}_{mz}}{1+\lambda L_0} \quad \text{y} \quad \dot{V}_a = \frac{\dot{V}_{mz}}{1+1/\lambda L_0} \tag{1}$$

Tabla 2. *Parámetros del regulador-dosificador.*

Parámetro	Símbolo	Valor
• Diámetro del diafragma, mm	D_{diaf}	145
• Diámetro del surtidor, mm	d_0	15,3
• Rigidez del resorte, N/m	k_r	324
• Brazo de palanca del diafragma, mm	b	53
• Brazo de palanca del obturador, mm	c	13
• Brazo de palanca del resorte, mm	a	22

• Levantamiento máximo del obturador, mm	h_0	4,5

donde λ es el coeficiente de exceso de aire, y L_0 es la relación aire combustible, en m^3/m^3.

El caudal de la mezcla $\dot{V}_{mz}$ es directamente proporcional a la cilindrada del motor (V_H) (en litros), a la máxima velocidad del motor (n) (en rpm), y a la eficiencia volumétrica del motor (η_v) [1,3,4,5]:

$$\dot{V}_{mz} = \frac{V_H}{1000} \cdot \frac{n}{120} \cdot \eta_v \tag{2}$$

La eficiencia volumétrica del motor es función, principalmente, de la velocidad del motor (en este caso la velocidad es constante e igual a 1.800 rpm) y de la apertura de la válvula de mariposa del motor. La eficiencia volumétrica se puede determinar experimentalmente o con un algoritmo de cálculo [5].

En general, para reductores-reguladores convencionales para GLP o GNV, con presiones de alimentación mucho mayores que la presión de suministro del biogás, es recomendable que la presión del gas en un compartimiento (etapa) tenga un valor que, en lo posible, produzca una caída de presión en el obturador de cada etapa que ocasione un flujo con régimen supercrítico (con velocidad igual a la del sonido) en los diferentes regímenes del motor [1,5]. Esta condición es particularmente importante para garantizar una presión de suministro al mezclador lo más estable posible. Sin embargo, en nuestro caso, esta recomendación no se puede llevar a cabo debido a la pequeña presión de suministro del biogás.

Flujo másico que ingresa al regulador

Dada la presión tan baja de suministro del biogás (máx. 20 mbar), el régimen del flujo a través del obturador siempre es subcrítico.

La ecuación general para el cálculo del flujo másico (en kg/s) de un fluido compresible a través de un agujero en régimen subcrítico es [2, 5]:

$$\dot{m}_g = \frac{A_r p_{a\lim}}{\sqrt{RT_{a\lim}}} \cdot \left(\frac{p_r}{p_{a\lim}}\right)^{\frac{1}{k}} \cdot \sqrt{\frac{2k}{k-1}\left[1-\left(\frac{p_r}{p_{a\lim}}\right)^{\left(\frac{k-1}{k}\right)}\right]} \tag{3}$$

donde A_r es el área de paso efectiva equivalente del flujo a través del tubito surtidor y del obturador; p_{alim} es la presión de ingreso al reductor (ver figura 2); T_{alim} se considera aproximadamente igual a la temperatura atmosférica. k es el exponente adiabático del gas; para el biogás, se puede asumir k=1,285.

La fórmula (3) también puede ser escrita como [2]:

$$\dot{m}_g = A_r\left[2\rho_g(p_{a\lim} - p_r)\right]^{0,5}\Phi \tag{4}$$

En nuestro caso, como la presión de suministro $p_{a\lim}$ es muy pequeña (no supera 1 mbar), entonces se cumple que $(p_{a\lim} - p_r)/p_{a\lim} << 0{,}1$ y $\Phi \approx 1$, por lo que al fluido se lo puede considerar prácticamente incompresible [2].

Para calcular el área de la sección de paso del obturador (válvula) del reductor, hay que tomar en cuenta que realmente hay dos obstrucciones hidráulicas en serie: el agujero surtidor y el área lateral del anillo imaginario que se forma entre el obturador y el pico del surtidor (ver Fig. 2).

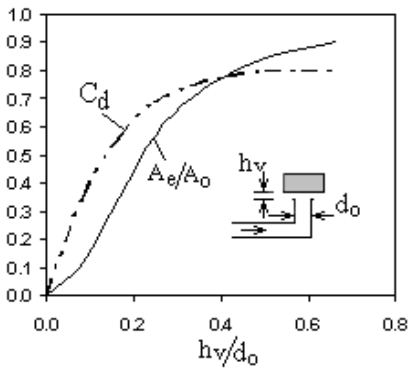


Fig. 2. *Variación del coeficiente de descarga del surtidor y del área efectiva equivalente en función de levantamiento.*

El área efectiva equivalente se calcula con la siguiente fórmula [3,5]:

$$A_r = C_d \cdot \pi d_0 h_v \sqrt{\frac{1}{1+K^2}} \tag{5}$$

donde K es factor que relaciona a las dos secciones en serie antes mencionadas, y se calcula con:

$$K = \frac{C_d \pi d_0 h_v}{\left(\frac{\pi d_0}{4}\right)} \tag{6}$$

Equilibrio de momentos en el balancín del obturador

Para el balancín del reductor, la ecuación de equilibrio de momentos es (ver Fig. 3-a):

$$N_m.b+P_v.a-Q_r.c=0 \tag{7}$$

donde N_m, Q_r y P_v ($=[p_{alim}-p_r].A_0$) son las fuerzas que ejercen el diafragma, el resorte y el obturador sobre el balancín, respectivamente.

Desarrollando esta ecuación, obtenemos:

$$(p_0 - p_r)A_m\alpha_m u_1 + (p_{a\lim} - p_r)A_a\alpha_v - (Q_{0,r} + k_r y)\cdot u_2 = 0 \tag{8}$$

donde p_r, p_{alim} y p_0 son las presiones dentro del reductor, de suministro y atmosférica, respectivamente; k_r es la constante de rigidez del resorte del reductor; $Q_{0,r}$ es la compresión previa del resorte; A_m y A_a son las áreas del diafragma del reductor y del surtidor, respectivamente; u_1 ($=b/a$) y u_2 ($=c/a$) y son las relaciones de los brazos de palanca respectivos; y ($=h_v u_2$) es la contracción que sufre el resorte del regulador;
α_m y α_v son coeficientes empíricos del diafragma y del obturador, respectivamente (Fig. 3-b).

Cuando el motor no funciona, el reductor está normalmente cerrado (por acción del resorte), lo cual es particularmente importante cuando el motor está apagado (por razones de seguridad).

Mezclador

Es el elemento encargado de combinar el gas con el aire en la proporción adecuada, en cualquier régimen de funcionamiento del motor. El perfil de la tobera debe ser tal que produzcan las menores pérdidas de presión en el flujo, por lo que éste debe ser lo más aerodinámico posible.

El mezclador tiene, básicamente, el mismo principio que un carburador convencional [2,4,5,6], es decir, el flujo de aire, que ingresa al motor durante la admisión, origina una depresión en la garganta del mezclador donde se ubican los agujeros por donde sale el biogás hacia el motor. La depresión en la garganta del mezclador varía en función de la posición de la válvula de mariposa del carburador y de la velocidad del motor. El diseño del mezclador permite obtener las principales medidas de éste, de manera que se obtenga una mezcla homogénea y con un coeficiente de exceso de aire adecuado. Las dimensiones principales del mezclador de biogás utilizado se muestran en la Fig. 4.

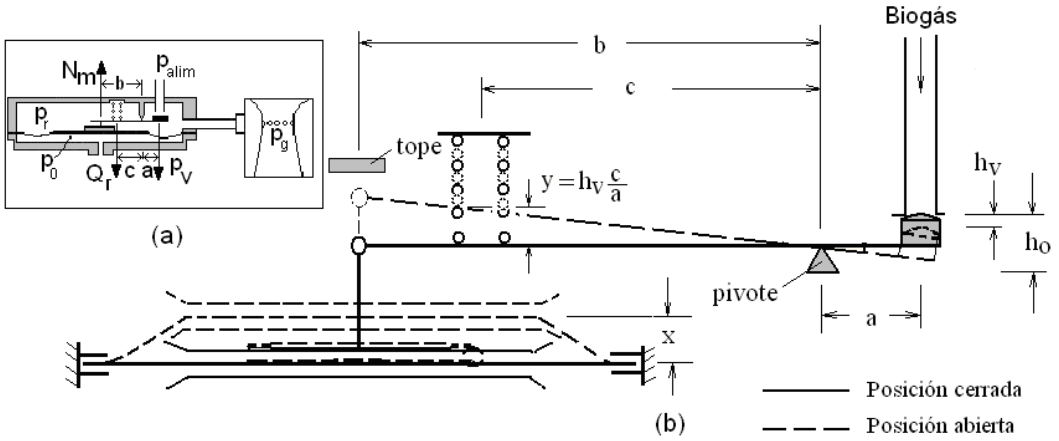


Fig. 3. *Esquema del regulador dosificador.*

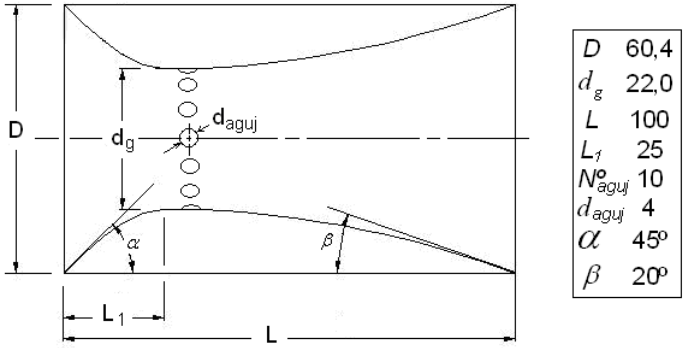


Fig. 4. Dimensiones principales del mezclador.

Para obtener el perfil de la tobera del mezclador se usó dos curvas polinómicas de tercer grado [4], del tipo:

$$y = a_0 + a_1 z + a_2 z^2 + a_3 z^3 \tag{9}$$

Los valores numéricos de los coeficientes de los polinomios se obtienen a partir de las condiciones de contorno del perfil y de recomendaciones bibliográficas[4,6]. El flujo másico de gas, calculado a través de la fórmula 4, también se puede determinar a partir de:

$$\dot{m}_g = \rho_g \dot{V}_g \tag{10}$$

donde $\dot{V}_g$ y ρ_g son el caudal de gas suministrado al motor y la densidad del gas (a las condiciones de suministro), respectivamente.

El caudal de gas suministrado al motor también se calcula con la siguiente fórmula:

$$\dot{V}_g = \mathrm{A}_{\mathrm{sal}} \sqrt{\frac{2}{\rho_g}} \sqrt{p_r - p_g} \tag{11}$$

donde $\mathrm{A}_{\mathrm{sal}}$ es el área efectiva equivalente entre el regulador-dosificador y el mezclador, y se calcula con la siguiente ecuación [3]:

$$\mathrm{A}_{\mathrm{sal}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(A_1 C_{d,1})^2} + \frac{1}{(A_{aguj} C_{d,aguj})^2}}} \tag{12}$$

donde $A_1 C_{d,1}$ y $A_{aguj} C_{d,aguj}$ son las áreas efectivas de la salida del reductor y los agujeros del mezclador, respectivamente.

La caída de presión que produce el flujo de mezcla aire-gas al pasar por la garganta del mezclador es:

$$\Delta p_d = \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \dot{V}_a^2 \cdot \frac{1}{(C_{d,mz} A_g)^2} \tag{13}$$

donde A_g es el área de la garganta del mezclador.

Por lo que la presión absoluta en la garganta del mezclador es:

$$p_g = p_0 - \Delta p_d \tag{14}$$

El coeficiente de descarga del mezclador, se puede considerar constante e igual a 0,98 dada la forma aerodinámica del mezclador.

Regulador de velocidad.

No hubo necesidad de realizar modificaciones ni cambiar el regulador original del motor, el cual es un mecanismo centrífugo (tipo regulador de Watt), cuya función es mantener constante la velocidad de rotación, interactuando para esto con la válvula de mariposa del motor a través de un sistema de palancas.

Resultados experimentales

Para demostrar la funcionalidad y confiabilidad del sistema de alimentación de biogás, así como para obtener las características de carga del grupo electrógeno con este combustible se realizaron pruebas de campo. Estas pruebas también sirvieron para validar al modelo matemático del regulador dosificador y del mezclador. Las especificaciones del motor son:

- Grupo Electrógeno Minneapolis-Moline, modelo: HD504A-6A.
- Tipo de motor: E.CH., a gas natural y GLP, 4 tiempos, 06 cilindros.
- Relación de compresión: 9,2/1.
- Diámetro x carrera: 117,5x127 mm^2.
- Cilindrada: 8.259 cm^3.
- Potencia nominal: 58 kW @ 1800 rpm (con gas natural).

En la Fig. 5 se puede apreciar la variación del consumo específico de combustible en función de la potencia generada. El menor valor del consumo específico del motor es de 0,73-0,76 m^3/(kW.h) para una potencia eléctrica de 45 a 47 kW. Tomando en cuenta que la potencia mecánica desarrollada por el motor es mayor que la potencia eléctrica (de 5 a 8%) entonces el consumo específico sería menor (de 0,70 a 0,72 m^3/kW.h. Estos valores se encuentran en el rango que indica Mitzlaff [4,6] (0,65–1,0 m^3/(kW.h)) para motores E.CH. modificados.

El consumo horario de biogás varía de 24,8 a 34,8 m^3/h cuando la carga aumenta de 0 a 47,3 kW. La determinación del consumo horario de biogás es importante para el dimensionamiento de las plantas de biogás, del mezclador y de otros accesorios [4,6].

El coeficiente de exceso de aire λ experimental, en todo el rango de variación de la carga, fue ligeramente mayor que 1 (ver Fig. 6), es decir, el motor siempre trabajó con mezclas casi estequiométricas. La tendencia de la curva denota un ligero enriquecimiento a medida que la carga del motor aumenta. También se puede notar que el valor de λ obtenido con el modelo matemático no sólo tiene la misma tendencia decreciente sino también que la diferencia entre los valores de λ es menor a 2%, lo que valida al modelo desarrollado.

Es importante mencionar que la tendencia casi constante de λ se debe exclusivamente a la acción del regulador-dosificador desarrollado. En caso que no se hubiera instalado este dispositivo, la tendencia de la curva sería totalmente distinta, enriqueciéndose notablemente la mezcla al disminuir la carga [4], lo que hubiese ocasionado el aumento no sólo del consumo específico de combustible sino también el aumento de las emisiones de *CO* y *HC* y el trabajo inestable del motor con estas cargas.

En la Fig. 7 se muestran los niveles de *CO* (%) e hidrocarburos *HC* (ppm) en función de la carga del motor.

Las bajas emisiones de *CO* (menores al 1%) se deben tanto a la mezcla homogénea aire combustible que proporciona el biogás como al hecho que el coeficiente λ es prácticamente igual a 1

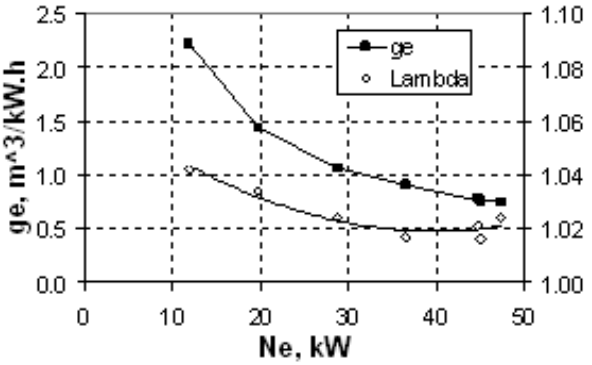


Fig. 5. Variación del consumo específico de biogás y λ en función de la potencia eléctrica generada.

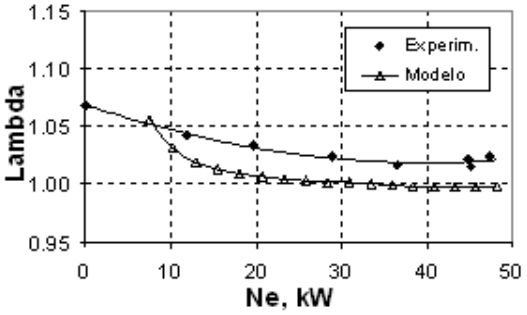


Fig. 6. Variación de λ en función de la carga del motor.

Los valores de los hidrocarburos *HC* sólo se elevan por encima de los valores admisibles (300 ppm) en los regímenes de bajas cargas debido a la disminución de la temperatura del motor con estas cargas.

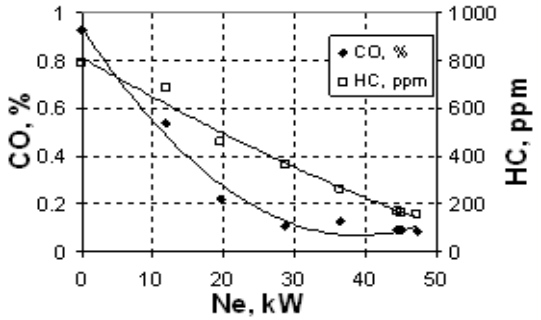


Fig. 7. Emisiones de CO (%) e hidrocarburos HC (ppm) en función de la potencia eléctrica generada.

Conclusiones

La realización de este proyecto ha permitido el desarrollo de un sistema sencillo y original de regulación automática de la alimentación de biogás a un motor de combustión interna de relativa alta potencia, lo cual hizo posible hacer funcionar de manera adecuada (confiable y segura) al grupo electrógeno con un combustible no especificado por el fabricante en todo el rango de cargas ensayado, lo que permite vislumbrar la posibilidad de electrificación de muchas comunidades rurales agropecuarias dispersas que no tengan acceso a la energía eléctrica.

Las modificaciones realizadas, mediante la modelación matemática, permitieron no sólo controlar el consumo de gas y λ, en el régimen de máxima potencia, sino regular automáticamente el consumo para cargas menores manteniendo prácticamente estequiométrica la mezcla aire-gas.

La potencia máxima desarrollada por el motor con biogás es 47 kW, la cual es aproximadamente 19% menor que la potencia nominal del motor (58 kW) trabajando con gas natural.

Los resultados de las pruebas con biogás arrojaron un consumo específico de aproximadamente 0,73–0,76 m^3/(kW.h) a plena carga. En todo el rango de cargas ensayadas, las emisiones tóxicas de *CO* y *HC* son relativamente pequeñas, tratándose de un motor estacionario.

Referencias

[1] Grigoriev, B.G., "Gasoballonnie Avtomobili", Editorial Mashinostroienie, Moscú, 1989 (en ruso).
[2] Heywood, J.B., "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw Hill Inc, USA, 1988.
[3] Jóvaj, M.S., "Motores de Automóvil", Editorial MIR, Moscú, 1982.
[4] Lira Cacho, J.G., Oliveros Donohue, A., Barrera, J., "Sistema de Alimentación de Biogás para un motor de Combustión Interna", Revista TECNIA, Vol.13, Nº1, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2003.
[5] Lira Cacho, J.G., Condori Antezana, J.C., "Un Sistema de Alimentación dual GLP/gasolina de bajo costo para Motores Automotrices de pequeña cilindrada", Revista TECNIA, Vol.15, N°2, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, diciembre, 2005.
[6] Mitzlaff, K. Von, "Engines for biogas". GATE. Deutsches Zentrum fur Entwicklungstechnologien. Germany, 1988.
[7] Víquez Arias, J.A., "Generación eléctrica con biogás", Revista ECAG, Nº52- 2010, Universidad Técnica Nacional, Costa Rica, 2010.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 103. Volumen 4(4), 6 páginas

PLASMA Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA AEROESPACIAL

Hilario De Jesús Alcántara[1], Francisco Javier Pita Martínez[1], Raúl Ramírez López[1]

Resumen

En el siguiente trabajo se muestra el método de la creación del plasma, sus características, y resultados obtenidos hasta la actualidad. Así como el impacto generado en el área aeroespacial.
Palabras clave: aeroespacial, plasma, VASIMR.

Summary

The following paper shows the method of creating the plasma, its characteristics, and results obtained to date. Also the impact generated in the aerospace industry.
Keywords: aerospace, plasma, VASIMR.

Introducción

El plasma ha sido uno de los descubrimientos más grandes del hombre en la búsqueda por describir el comportamiento de la materia que lo rodea, ya que es uno de los estados de agregación de la misma. Más sin embargo, no ha sido fácil poder crearlo, controlarlo y mantenerlo, ya que su comportamiento es caótico, y más aún crearle aplicaciones que puedan serle funcionales al ser humano como es el de su inserción en el campo aeroespacial como método de propulsión.

Existen ya instituciones y empresas que han dedicado tiempo para la implementación de este en naves aeroespaciales tales como el MIT, y Ad Astra Rocket. Con su motor VASIMR®, y este trabajo pretende ser una recopilación y condensación de las características más relevantes que son propias del plasma enfocado a su aplicación aeroespacial.

Definición del plasma.

Un plasma es un conjunto de partículas cargadas y neutras (iones y electrones) que satisface ciertas condiciones las cuales se enuncian a continuación. Los iones y electrones que constituyen el plasma se producen por ionización de átomos o moléculas.

Condiciones para la existencia de un plasma.

Para que se dé la existencia de un plasma deben cumplirse algunos requisitos como son alcanzar determinada energía de ionización, así como que el comportamiento se dominado externamente con este, y no por la interacción por las cargas de las partículas con otras.

Energía de ionización.

Para producir plasma es necesario liberar electrones que se encuentran ligados a los átomos. El requisito primordial es que el electrón adquiera la energía suficiente para escapar del átomo. Las energías de ionización se miden en electronvoltios, que es la energía adquirida por un electrón al pasar por un potencial electrostático de un voltio, y es igual a $1.6*10^{-12}$ ergios (ver tabla 1).

[1] Instituto Tecnológico de Querétaro, Av. Tecnológico S/N esq. Gral. Mariano Escobedo col. Centro C.P. 76000. Tel.:4423864464, E-mail: einewtons@hotmail.com

Tabla 1. Energías de ionización de algunos gases.

	Masa atómica (uma)	Energía de ionización (eV)
^{1}H	1.007	13.6
^{7}N	14.007	14.53
^{10}Ne	20.180	21.56
^{18}Ar	39.948	15.76
^{36}Kr	83.798	13.99
^{54}Xe	131.293	12.13

Número de Debye.

Cuando un gas es completamente ionizado se produce un efecto conjunto de las partículas (iones y electrones). Dicho efecto constituye la principal característica de un plasma. Una medición cuantitativa del efecto que causa el campo eléctrico de una partícula antes de que su efecto sea anulado por partículas de carga opuesta fue calculada por Debye para un electrolito [1]. La distancia de blindaje deducida es:

$$D = (kT / 4\pi ne^2)^{1/2} \tag{1}$$

Donde: K – constante de Boltzman (1.38 x 10^{-16} ergios/°K)
T – temperatura efectiva en grados Kelvin de las partículas
e – carga de las partículas
n – número de partículas por unidad de volumen

La aplicación de la ecuación de Debye permanece en duda para un gas. Sin embargo, dicha fórmula proporciona una medida de la distancia a la cual una partícula cargada ejerce un campo dominante, más allá de esa distancia el efecto es nulo. Si la influencia del campo de la partícula es nula, entonces los campos colectivos dominan.

Se puede decir entonces que para la existencia de un plasma debe existir una distancia L que sea grande comparada con D.

Debido a que deben existir por lo menos dos partículas en una distancia igual a la de Debye para que los campos individuales se anulen, podemos decir que en una esfera con radio igual a la longitud de Debye el número de partículas tiene que ser mayor a la unidad. Dicha afirmación puede ser expresada como sigue:

$$n_{V_D} >> 1 \tag{2}$$

Donde: n_{V_D} – número de partículas en una esfera de radio igual a la longitud de Debye.

Neutralidad.

Considerando una fracción de la cantidad de partículas (iones y electrones) en una longitud r dentro de una esfera del mismo radio de un plasma, podemos observar que se producirían enormes potenciales electrostáticos asociados si hubiera una diferencia pequeña entre iones o electrones. La fracción de plasma podría ser representada como sigue:

$$V = \frac{c\,\mathrm{arg}\,a..total}{r} = \frac{4}{3}\pi r^2 (n_i - n_e)e. \tag{3}$$

Supongamos que a un plasma con $N_e = 10^{14}$ electrones por cm^3 fuera desviado en un 1% de la neutralidad, el potencial generado sería de 6 x 10^5 voltios. Dicho potencial no puede ser mantenido en un plasma ya que el plasma debe mantener un estado eléctricamente neutro, por lo tanto otra característica del plasma es que el número de iones y electrones tienden a ser iguales. Lo cual podría escribirse como:

$$n_i \approx n_e \tag{4}$$

Oscilaciones del plasma.

Es de esperar la posibilidad de que los electrones puedan oscilar colectivamente alrededor de los iones masivos; la atracción que ejercen iones y electrones unos con otros es suficiente para proporcionar la fuerza de restitución colectiva.

Si se llegara a presentar un desplazamiento de electrones una distancia δ comparada con la anchura de un plasma de longitud L, el campo neto producido por dicho desplazamiento sería:

$$E = 4\pi s \tag{5}$$

donde:

$$s = en\delta \tag{6}$$

La ecuación (6), define la carga por unidad de área de superficie perpendicular a s debida a la densidad de carga n. La fuerza por unidad de área que actuando sobre un electrón en el interior del plasma es igual a la carga por unidad de área multiplicada por E, que es igual a:

$$(Lne)E = 4\pi n^2 e^2 L\delta \tag{7}$$

La masa por unidad de área en la que actúa la carga es Lmn donde m representa la masa del electrón. Así mismo la ecuación de movimiento se define como:

$$Lmn\frac{d^2\delta}{dt^2} = -4\pi n^2 e^2 L\delta\,, \tag{8}$$

donde: $\frac{d^2\delta}{dt^2}$ – es la aceleración de los electrones.

Por lo tanto (8) tiene la solución:

$$\delta = A\exp(i2\pi v_p t)\,, \tag{9}$$

Sabiendo que la frecuencia de oscilación del plasma, está dada por:

$$v_p = (ne/\pi m)^{1/2} \tag{10}$$

expresada en ciclos por segundo quedaría como:

$$v_p = 9*10^3 n^{1/2}\ \text{cps.} \tag{11}$$

Las colisiones que se generen entre iones y electrones deben amortiguar estas oscilaciones colectivas. Por lo tanto la frecuencia de la oscilación del plasma debe ser grande en comparación con las oscilaciones colectivas.

$$V_p > V_C\,. \tag{12}$$

Ionización por radiación.

Existen diferentes métodos para que un átomo sea ionizado, uno de ellos es por medio de radiación. Si representamos la energía de ionización con eV_1 y λ como la longitud de onda de la radiación, sabiendo que $v = c/\lambda$ y teniendo en consideración que la constante de Planck relaciona la energía de de los fotones con la frecuencia de la forma $E = hv$ se tiene:

$$v = \frac{c}{\lambda} = \frac{E}{h} \tag{13}$$

donde: h - constante de Planck y es igual a $6.62*10^{-27}$ ergios/s.

Si sustituimos a E con la energía necesaria eV_1 para ionizar el átomo, podemos obtener la frecuencia de ionización y la frecuencia para ionizarlo, como se muestra:

$$\lambda = \frac{c \cdot h}{eV_1} \tag{14}$$

$$v = \frac{eV_1}{h} \tag{15}$$

Plasma en la industria espacial

En la actualidad existen ya algunos avances en esta área principalmente dirigida por la empresa *Ad Astra Rocket,* la cual es una empresa que desarrolla proyectos de propulsión aeroespacial basada en plasma, los orígenes de esta empresa se remontan a los estudios desarrollados por el Dr. Frankling Chang Díaz en el MIT en cuestiones de gases supercalientes llamados plasmas. El proyecto más importante de esta compañía es llamado VASIMR (The variable specific impulse magnetoplasma rocket).

VASIMR®.

El VASIMR es un motor cuyo empuje radica en el plasma creado a partir de la ionización de un gas, este motor ha estado en desarrollo desde hace varias décadas a cargo del Dr. Chang Díaz. La ventaja más importante de este motor radica en la alta eficiencia comparada con la de los motores de combustibles químicos.

En 2006 Chan Díaz calculaba alrededor de 120 kg de argón para formar plasma y dar el empuje necesario para que la ISS permaneciera en órbita [2], mientras que en ese mismo año se utilizaban 7000kg de combustible químico para causar el mismo efecto, considerando que cuesta 20000 dólares por cada kilogramo de cualquier objeto que se lance al espacio, se estaría ahorrando alrededor de 137 millones de dólares anuales.

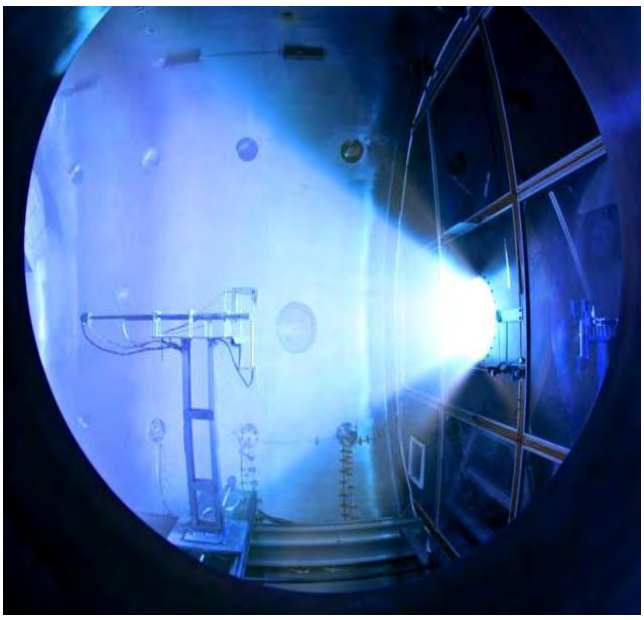


Fig. 1: VX-200 Prueba realizada con argón. Fuente Ad Astra Rocket.

Fig.2: Prueba en laboratorio del Vulcain 2. Fuente Capcomespace.

Una desventaja de este motor es que no puede ser utilizado para despegues desde la tierra ya que el empuje generado es mucho menor que el de los motores de combustible actual. Por ejemplo el VX-200 (ver Fig. 1), el cual es un prototipo del VASIMR, para el año 2010 alcanzaba un empuje de 5.7 N, mientras que un motor de combustible químico como el Vulcain 2 desarrolla un empuje de 0.94 MN [3] (ver Fig. 2).Cabe mencionar que al utilizar argón como propelente y un potencial de 210 KW entregado por medio de RF, se obtuvo una eficiencia de 72% [4].

Pruebas realizadas en el MIT

El Instituto Tecnológico de Massachussetts ha desarrollado varias pruebas para crear plasma. El 23 de noviembre del 2005 obtuvieron su primer plasma a través del uso de nitrógeno como propelente y una emisión de ondas RF con un potencial de aproximadamente de 700 KW [5], (ver Fig. 3).

Fig. 3: Primer plasma obtenido en el MIT

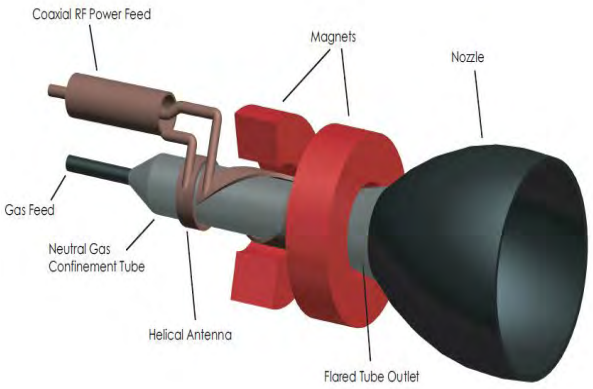


Fig.4: Diseño virtual del aparato con antena helicoidal, tubo para confinar el gas, electroimán y antena RF.

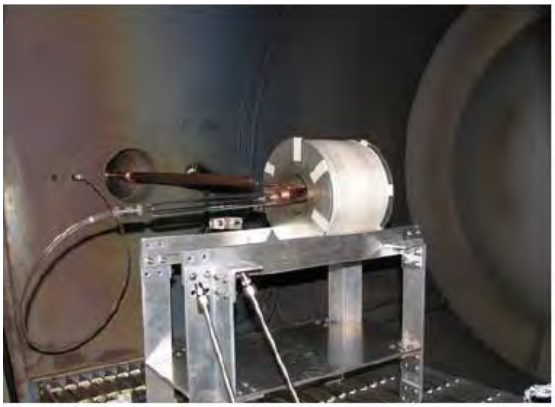


Fig.5: Estructura física implementada.

A partir del primer plasma obtenido se han ido perfeccionando los instrumentos para crearlo. El proceso esencial que ellos utilizan es siniestrar gas (Argón, nitrógeno o hidrogeno) con una velocidad de 0.548mg/s [6], el cual pasa a través de un tubo hecho de cuarzo permitiendo que una antena enrollada en él bombardee con ondas helicoidales de un potencial de varios cientos de Watts a el gas suministrado (en esta etapa es donde se crea el plasma). Enseguida se encuentra un electroimán, el cual tiene la función de crear las líneas magnéticas necesarias para que el plasma pueda viajar a través de ellas (ver Figs. 4 y 5).

Conclusiones

La futura aplicación del plasma en la industria aeroespacial ha sido uno de los desarrollos tecnológicos más importantes. En un futuro cercano los viajes interplanetarios serán realidad gracias a que los motores que utilizan plasma son mucho más eficientes en cuanto al uso de combustible. Además, el gas utilizado para el proceso de ionización puede ser hidrogeno, el cual es el elemento más abundante en el universo, lo cual posibilita el poder reabastecerse en muchos lugares del cosmos.

Referencias

[1] Forrest, B. *Plasmas en el laboratorio y en el cosmos*, Ed. Reverte Mexicana.1968. Mexico.
[2] ***Ponchner, D. 2011.*** http://wvw.nacion.com/ln_ee/2006/diciembre/27/aldea940491.html
[3] Haidn, O. *Advanced Rocket Engines*. Institute of Space Propulsion, German Aerospace Center (DLR), 2008.
[4] http://www.adastrarocket.com/aarc/VX200
[5] Batishchev, O. *Esperimental Study of the Mini-Helicon Thruster*. Masachusetts Institute of Technology. February 2008
[6] Sinenian, N. *Propulsion Mechanisms in a Helicon Plasma Thruster*. Plasma Science and Fusion Center. Masachusetts Institute of Technology, February 2008.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 108. Volumen 4(1), 9 páginas.

PROPUESTA DE MEDIDAS PARA AUMENTO DE PRODUCCIÓN Y AHORRO ENERGÉTICO EN UNA PLANTA DE DIÓXIDO DE CARBONO

Manuel Raul Sumaria Montes[1], **Freddy J. Rojas Chávez**[2]

Resumen

El presente trabajo propone medidas para el aumento de producción y ahorro energético en una planta de CO2. Se realizó un análisis de la producción y de la distribución de vapor en la planta, se determino la producción de CO2 actual, la cantidad de vapor obtenida y la cantidad de vapor suministrada a los equipos.
Los resultados más importantes se mencionar la selección de una caldera pirotubular de 200 BHP, el diseño de un ciclo de vapor con la caldera seleccionada para generar energía mecánica y obtener calor para procesos de calentamiento y la automatización de purgas de superficie con lo cual se logran ahorros en el consumo de agua tratada y en procesos de calentamiento utilizando el vapor flash generado. Finalmente se desarrolla una evaluación económica, el primer proyecto tiene una inversión de $ 208772 y consiste en la selección de una caldera y el diseño de un ciclo de vapor, en este proyecto el retorno de la inversión se logra en 12 meses, el segundo proyecto tiene una inversión de $ 21802 y consiste en la automatización de las purgas de superficie en las calderas, en este proyecto el retorno de la inversión se logra en 13 meses.
Palabras clave: Análisis energético, caldera, combustión, dióxido de carbono, gas natural.

Summary

This paper proposes measures to increase energy savings in production and plant CO2. An analysis of production and distribution of steam in the plant, determine the current CO2 production, the amount of steam obtained and the amount of steam supplied to the teams. The most important include the selection of a boiler pirotubular of 200 BHP, the design of a steam cycle with the selected boiler to generate mechanical energy and heat gain for heating processes and automation of surface drains thereby achieve savings in the consumption of treated water and heating processes using the flash steam generated. Eventually develops an economic evaluation, the first project has an investment of $ 208772 and consists in selecting a boiler and the design of a steam cycle, in this project payback is achieved in 12 months, the second project has an investment of $ 21802 and involves the automation of surface drains in the boiler in this project payback is achieved in 13 months.
Keywords: Energy Analysis, Boiler, Combustion, Carbon Dioxide, Natural Gas.

Introducción

En esta sección haremos una descripción de los procesos y producto que se elabora.

Antecedentes.

La empresa del presente estudio se dedica a la obtención y comercialización del dióxido de carbono en fase liquida y/o gas para uso industrial y grado alimenticio; el objetivo de esta planta es transformar el gas natural en dióxido de carbono CO2 a través de procesos y operaciones unitarias.

La obtención del dióxido de carbono tiene una producción promedio de 54 ton/día, el producto terminado tiene una pureza de 99,9 % y es almacenado como líquido en tanques equipados para este fin a -17 ° C y 19,61 bar [20 kgf/cm^2], [13].

[1] Pontificia Universidad Católica del Perú, Av. Universitaria 1801, San Miguel-Perú. E-mail: msumaria@pucp.edu.pe,
[2] Idem. E-mail: fjrojas@pucp.edu.pe

Dióxido de carbono

Es un gas resultante de la combinación de dos átomos de oxígeno y uno de carbono, su formula química es CO2 y su representación por estructura de Lewis es $C=O=C$; está presente en proporción débil en la atmósfera aproximadamente (0,03 al 0,06) % en volumen.

Aplicaciones del dióxido de carbono

Por sus características físicas se puede utilizar en diferentes procesos y aplicaciones, y por sus propiedades es importante conocer su manejo a través de la hoja de seguridad del producto

Producción de dióxido de carbono

Hay diversas formas de producir CO2 en cantidades comerciales ya sea para uso industrial o grado alimenticio, las cuales son:

- Por combustión de gas, coque, petróleo, leña u otros combustibles
- Como subproducto de plantas químicas o petroquímicas
- Recuperando de procesos de fermentación
- Pozos de donde surge espontáneamente

Metodología

La metodología empleada fue realizar el análisis energético de distribución de vapor en la planta, a través de las ecuaciones termodinámicas y transferencia de calor, tal como se muestran a continuación.

Cabe notar que en esta planta de producción de CO2, el vapor producido se encuentra a la presión de 12,41 barg [180 psig].

Análisis de producción

Para la obtención de CO2 por combustión se utilizan dos calderas pirotubulares las características principales se visualizan en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos de operación de calderas 1 y 2

Potencia	600 BHP
Presión de operación	180 psig
Tipo de combustible	Gas natural
Tiempo de operación	24 hr/día
Consumo de combustible	564 m^3/hr (por caldera, promedio)
Válvulas de seguridad	Cuatro (4)
Número de pasos	Tres (3)
Altura sobre el nivel del mar	0 m

Producción de CO2 en las calderas 1 y 2. El flujo másico del gas natural es:

$$\dot{m}_{comb} = 0{,}7516 \times 564 = 423{,}89 kg/hr = 10173{,}33 kg/dia$$

Distribución de vapor en la planta . Según el balance de energía se tiene:

$$\dot{Q}_{vapor} = \dot{Q}_{proceso} + \dot{Q}_{disipado} \quad (1)$$

$$\dot{W}_t = \dot{m}_{vapor} \times \left(h_{g1} - h_{g2}\right) \text{ (Turbinas de vapor)} \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{vapor} = \dot{m}_{vapor} \times \left(h_g - h_f\right) \text{ (Calderas, condensadores y destiladores)} \quad (3)$$

Análisis energético de las calderas 1 y 2

Para determinar la cantidad de vapor generada por la combustión del gas natural se utiliza la norma técnica peruana NTP 350.300:2002 [9], considerando una eficiencia promedio máxima de 85 %.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{vapor}}{\dot{v}_{gas-natural} \times PC_{\sup}} \quad (4)$$

De la ecuación (4) se tiene:

$$\dot{Q}_{vapor} = 0{,}85 \times 0{,}16 \times 39788{,}45 = 5298{,}50 kW$$

$$\Rightarrow \dot{m}_{vapor} = 2{,}24 kg/s$$

$$\dot{m}_{vapor(1y2)} = 16103{,}34 kg/hr.$$

Análisis energético de las turbinas 1 y 2

De datos del manual de la turbina, en la Tabla 2 se visualizan los parámetros de operación:

Tabla 2 Características de las turbinas.

Marca	Skinner
Modelo	S-28
Máxima presión de entrada	600 psig
Máxima temperatura de entrada	400 ºC
Velocidad critica aproximada	7320 rpm
Rango de velocidad	(1000-4000) rpm

Considerando una calidad del 96 %, esto para poder determinar la entalpia del vapor húmedo.

De la ecuación (2) se tiene:

$$\dot{m}_{vapor} = \frac{\dot{W}_{turbina}}{(h_1 - h_2)} = \frac{285}{(2788{,}12 - 2634{,}10)}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_{vapor} = 1{,}85 kg/s$$

Análisis energético de los calentadores 1 y 2

Para procesos de calentamiento se tiene:

$$\dot{Q}_{calentamiento} = \dot{m} \times (h_{T1} - h_{T2}) \tag{5}$$

De la ecuación (5):

$$\dot{Q}_{calentamiento} = 21{,}50 \times (493{,}947 - 334{,}96) = 3418{,}01 kW$$

Medidas para aumento de producción y ahorro energético

Análisis técnico del uso de la energía en la planta

La planta de producción de CO2 por combustión tiene un funcionamiento continuo (esto es 24 horas por día y 30 días por mes), el consumo mensual de gas natural es de 812160 m^3..

$$\Rightarrow Gasto - combustible = 153441\$/mes$$

Selección de la caldera pirotubular

El calor de combustión se puede determinar con la siguiente expresión:

$$\dot{Q}_{combustion} = \dot{v}_{gas-natural} \times PC_{\sup} \tag{6}$$

De la (6) se tiene:

$$\dot{Q}_{combustion} = 0{,}0443 \times 39788{,}45 = 1762{,}89 kW$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{combustion} = \frac{1762.89}{9{,}808} = 179{,}74 BHP$$

Por lo tanto, se selecciona una caldera de las siguientes características, según se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3 Características de la caldera seleccionada

1	Marca	Distral
2	Serie	A – 3578
3	Modelo	D3E - 200 – 200
4	Tipo	Pirotubular horizontal
5	Capacidad	200 BHP
6	Presión de diseño	13,79 Barg [200 psig]

Diseño de un ciclo de distribución de vapor

El siguiente estudio de la red de distribución de vapor para la caldera seleccionada considera el análisis energético de los equipos que realizan el ciclo, el dimensionamiento de tuberías, aislamiento y selección de los principales accesorios para obtener la mayor eficiencia posible del vapor generado, los puntos a evaluar son los siguientes:

a) Análisis energético de la turbina de vapor

$$\Rightarrow Wt = 63{,}22kW = 84{,}75HP$$

Para la selección adecuada de la turbina se utilizó el boletín T-69 de Skinner, Turbinas mecánicas para expansión del vapor; estas turbinas de vapor son de una sola etapa de expansión para generación de energía mecánica en baja potencia. Se considera para el accionamiento de la bomba centrifuga marca Hidrostal.

b) Juntas de expansión

A fin de seleccionar correctamente una junta de expansión, se debe conocer el incremento de longitud (deformación lineal) a compensar con la siguiente expresión:

$$\Delta L = \alpha \times L \times \Delta T \tag{7}$$

Para el acero se tiene: $\alpha_{acero} = 1{,}2 \times 10^{-5}\,^{o}C^{-1}$, la temperatura del vapor dentro de la tubería a la presión de 13,79 Barg es 197,7 ºC y considero una temperatura ambiente de 20 ºC. De la ecuación (7):

$$\Delta L = 1{,}2 \times 10^{-5} \times 45 \times (197{,}7 - 20) = 95{,}96mm$$

c) Válvulas sistema de red principal

Para el dimensionamiento de la válvula de seguridad se debe considerar el caudal máximo:

$$\dot{m}_{\max} = 1{,}25 \times \dot{m} = 1{,}25 \times 0{,}7 = 0{,}875kg/s = 3150kg/h$$

y considero una presión de tara (apertura de válvula): P_{tara} = 14 bar.

d) Aislamiento de tubería principal

Se utilizara como material aislante lana mineral $k_{ailante} = 0{,}043W/m^{o}C$, [3].

El calor disipado al medio ambiente en la tubería se puede determinar con la siguiente expresión:

$$\dot{Q}_{cedido} = \frac{2 \times \pi \times L \times (T_{interior} - T_{ambiente})}{\frac{1}{\alpha_{int} \times r_1} + \frac{\ln\left(r_2/r_1\right)}{k_{acero}} + \frac{\ln\left(r_3/r_2\right)}{k_{aislamiento}} + \frac{\ln\left(r_4/r_3\right)}{k_{aluminio}} + \frac{1}{\alpha_{ext} \times r_4}} \tag{8}$$

Si se considera $T_W = 30^{o}C = 303K$ y usando las ecuaciones que calculan las propiedades adimensionales de transferencia se tiene: $e_{aislamiento} \approx 58{,}2mm$ y el calor cedido despejando la ecuación es:

$$\dot{Q}_{cedido} \approx 2428W \approx 2{,}43kW$$

e) Sistema de drenado

En la red distribución propuesta se considera un separador de humedad en la entrada del vapor a la turbina, esto para evitar el ingreso de vapor húmedo dañando los alabes del rotor, para la selección utilizo la grafica de dimensionado para separadores de Spirax Sarco.

f) Análisis energético condensador

Se consideró para el diseño el flujo másico de la caldera $\dot{m}_{vapor} = 0{,}70kg/s$ y una presión de 2,07 bar.

$$\Rightarrow \dot{Q}_{cedido} = 1518{,}96kW$$

El flujo másico de calor hallado debe ser entregado al agua a calentar que tiene una temperatura de 20 ºC cuando es transportada de la torre de enfriamiento al condensador, considero una eficiencia del condensador $\eta_{condensado} = 0{,}85$.

$$\dot{Q}_{util} = \frac{1518,96}{0,85} = 1787,01kW$$

g) Sistema retorno de condensado

En la salida del condenador se tiene: $\dot{m} = 0,70kg/s$ y $P = 2,07Bar$

Se tiene: $L_{tub} = 128m$

$\Rightarrow \Delta P = \frac{10388,05}{10^5 \times 128} = 0,0008Bar/m < 0,0010Bar/m$, cumple la recomendación.

h) Selección de bomba centrifuga

Se consideró un flujo másico 50 % mayor al determinado por la caldera pirotubular:

$$\dot{m}_{agua} = 1,5 \times 0,70 = 1,05kg/s$$

Los parámetros de operación de la bomba se determinan con las siguientes expresiones:

$$H_{man} = \left(\frac{P_6 - P_0}{\rho \times g}\right) + (Z_6 - Z_0) + \frac{1}{2 \times g} \times \left(V_6^{\,2} - V_0^{\,2}\right) \pm |h_{tub}| = \frac{W_{motor} \times n}{Q \times \rho \times g} \quad (9)$$

$$NPSH = \frac{P_{atm}}{\rho \times g} - \frac{P_g}{\rho \times g} - (Z_1 - Z_0) - h_{0-1} \quad (10)$$

Para los cálculos se consideró las pérdidas por fricción en accesorios (codos, uniones universales, etc.) 20 % de perdidas en tuberías y un d_{int} = 1,61 in = 0,0409 m..

$$\Rightarrow H_{man} = 145,17m$$

$$\Rightarrow NPSH = 2,92m$$

Los parámetros de selección de la bomba son:

$$Q = 1,10l/s = 3,96m^3/h,\ H_{man} = 145,17m \text{ y } NPSH = 2,92m$$

El modelo de bomba seleccionada es el CR 5, con una eficiencia aproximada de 60%, este tipo de bomba es recomendado para alimentación de calderas y sistemas de condensación [7].

i) Red alimentación agua a caldera

Para la tubería de agua 1-1/2 in se selecciona del catalogo de Spirax Sarco una válvula de retención de disco DCV3 de DN40 para montar entre bridas BS 4504 PN25 y una válvula de interrupción con fuelle BSA2 de DN40 con bridas PN25.

j) Control de (STD) e implementación de un tanque flash

Aplicando la primera ley de la termodinámica se tiene:

$$h_{f(180psig)} = h_{f(8psig)} + X \times \left(h_{g(8psig)} - h_{f(8psig)}\right)$$

$$\Rightarrow 821,56 = 472,49 + X \times (2695,28 - 472,49) \Rightarrow X = 0,16$$

Esto significa que el 16% de la masa de líquido se revaporiza dentro del tanque flash para las purgas de superficie de las calderas. Para los cálculos, el caudal de purga se determina con la siguiente expresión:

$$\dot{m}_{purga} = \left(\frac{B}{C - B}\right) \times \dot{m}_{vapor} \quad (11)$$

$$\dot{m}_{revaporizado} = 633,06 \times 0,16 = 99,42kg/hr$$

Resultados

De los resultados encontrados se pudo realizar una evaluación del aumento de producción y ahorro energético en la planta:

Proyecto de aumento de producción y ahorro de energía

La inversión inicial para el sistema propuesto según las cotizaciones es $208771{,}67\$$; este es un costo inicial grande que se debe realizar para comenzar a percibir ganancias, adicional a esto se va a gastar una cantidad fija de dinero por consumo de gas natural (materia prima para la obtención de CO2) y mantenimiento mensual.

Consumo de combustible de la caldera seleccionada

$$\Rightarrow Gasto - combustible = 21697{,}20\$/mes$$

Ganancia obtenida por el proyecto

a) Producción de CO2

$$Ganancia = m_{CO_2} \times (Costo - tonelada) \Rightarrow Ganancia = 44598{,}90\$$$

b) Ahorro de energía eléctrica

$$Ganancia = E_{generada} \times (Costo - energia) \Rightarrow Ganancia = 1716{,}27\$$$

Retorno de inversión del proyecto

Para el proyecto considero un gasto mensual de mantenimiento de 3000 $ para los nuevos equipos, cumpliendo un plan de mantenimiento preventivo. Igualando la inversión inicial, los gastos fijos mensuales y las ganancias mensuales [10], se tiene:

$$A \times (1 + i_{prestamo})^n = (C - B) \times \left[\frac{(1 + i_{ahorro})^n - 1}{i_{ahorro}} \right] \tag{12}$$

$$\Rightarrow n \approx 12 meses$$

Por lo tanto, éste proyecto es muy rentable.

Ahorro obtenido por control de purgas de superficie y tanque flash

Al implementar el control de STD, existe un ahorro de caudal disminución de las purgas de superficie, un ahorro energético por generación de vapor a baja presión y un ahorro de tratamiento del agua. El ahorro mensual obtenido por control de las purgas de superficie, purgas de fondo e implementación de un tanque flash es de 2223,51 $..

Retorno de inversión del proyecto

El retorno de la inversión es: $\Rightarrow n \approx 13 meses$

Esta inversión es necesaria y se debe realizar para mejorar los procesos de generación de vapor de cada caldera y con esto disminuir los costos operaciones y aumentar la eficiencia de la planta.

Conclusiones

El presente trabajo se enfoca en proponer medidas reales de aumento de produccion y ahorro energético, en una planta de obtención de dióxido de carbono por combustión de gas natural, con una capacidad de produccion de sus instalaciones de 60 ton/día, utilizando una metodología sencilla y a la vez claramente fundamentada, con la finalidad de que puedan implementarse en el futuro próximo. De esta forma se podría aumentar las ganancias y reducir los costos de operación, lo que significaría un aporte tecnológico al enfrentar un problema real teniendo en cuenta una evaluación técnica y económica.

Se puede concluir, que se ha logrado presentar una propuesta para aumentar la produccion de CO2 en 7,43 ton/día y una propuesta para ahorro energético con la automatización de las purgas de superficie en las calderas pirotubulares, con lo cual se generarían ahorros significativos en el consumo del agua, químicos para el tratamiento y adicional se generaría vapor flash (baja presión) para procesos de calentamiento.

Durante el análisis energético se determinó la producción de CO2 en 52,57 ton/día, este flujo másico es obtenido por la combustión del gas natural en dos calderas pirotubular de 600 BHP que generan como sub producto 16103 kg/hr de vapor saturado a la presión de 12,41 barg [180 psig], el consumo de vapor en todos los procesos de la planta es de 15879 kg/hr, esto deja un 1,39 % de flujo másico de vapor para regular el aumento de potencia en las turbinas.

Para aumentar la producción, la caldera pirotubular seleccionada tiene una capacidad de 200 BHP a una presión de 13,79 barg [200 psig], utilizando gas natural para la combustión, obteniéndose 7,43 ton/día de CO2 y 2531 kg/hr de vapor saturado.

Se propone utilizar el vapor saturado para un ciclo Rankine, obteniendo una potencia máxima de 110 kW para entrega de energía mecánica y un flujo de calor de 1519 kW para procesos de calentamiento; la red de distribución se ha diseñado cumpliendo con las recomendaciones de caída de presión establecidas.

Se propone la implementación de un tanque flash para las purgas de superficie y la automatización de las mismas, con lo cual se generarían ahorros significativos en el consumo del agua, químicos para el tratamiento y adicional se generaría vapor flash (baja presión) para procesos de calentamiento.

El presupuesto referencial del proyecto para el aumento de producción y generación de energía mecánica asciende a $ 208772, el retorno de la inversión se logra en un periodo de 12 meses, teniendo en cuenta las ganancias generadas por la producción de CO2 y por la reducción de energía eléctrica; este proyecto implica el diseño de un nuevo sistema de producción de CO2 y de distribución de vapor.

El presupuesto referencial del proyecto para el aumento de eficiencia y ahorro energético en las calderas pirotubulares asciende a $ 21802, el retorno de la inversión se logra en un periodo de 13 meses, teniendo en cuenta los ahorros que se tendrían por disminución del consumo de agua, tratamiento químico y generación de vapor a baja presión.

Lista de símbolos

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3)
M : Masa molar (Kg/kmol)
Z : Factor de compresibilidad
S : Gravedad específica
C_p : Capacidad calorífica a presión constante (kJ/kg.ºC)
C_v : Capacidad calorífica a volumen constante (kJ/kg.ºC)
μ : Viscosidad dinámica (N.s/m^2)
k : Conductividad térmica del material (W/m.ºC)
BHP : Boiler horse power
$\dot{m}$: Flujo másico (kg/s)
m : Masa en un determinado proceso (kg)
$\dot{v}$: Flujo volumétrico, caudal (m^3/s)
v : Volumen en un determinado proceso (m^3)
$\dot{Q}$: Flujo de calor (kW)
$\dot{W}_t$: Trabajo mecánico (kW)
$B\text{arg}$: Presión manométrica en Bar
$psig$: Presión manométrica en psi
h_g : Entalpia del fluido en el estado de vapor saturado (kJ/kg)
h_f : Entalpia del fluido en el estado de líquido saturado (kJ/kg)
PC_{sup} : Poder calorífico superior del gas natural (kJ/m^3)
η : Eficiencia térmica
h_T : Entalpia del líquido sub enfriado a una temperatura dada (kJ/kg)
X : Calidad del vapor, se define como masa del vapor / masa total
π : Constante universal (3,1416)
A : Área de la sección transversal involucrada (m^2)
ΔP : Diferencia de presión entre dos puntos (Pa)

d_1 : Diámetro interior de la placa orifico (m)

D_1 : Diámetro interior de la tubería (m)

x : Calidad del vapor, se define como masa del vapor / masa total

H_{man} : Atura manométrica de la bomba (m)

g : Gravedad (9,81 m/s^2)

V : Velocidad promedio del fluido (m/s)

ξ : Factor de fricción del diagrama de Moody

L_e : Longitud equivalente incluye longitud de tubería, válvulas y accesorios (m)

Re : Número de Reynolds

e : Espesor de pared (m)

FS : Factor de seguridad

σ_f : Esfuerzo de fluencia para el material seleccionado (N/mm^2)

ΔT : Diferencia entre la temperatura (ºC)

α : Coeficiente de expansión térmica (1/ºC)

T_W : Temperatura de superficie (ºC)

t : Tiempo de puesta en marcha (s)

C : Coeficiente que depende de la forma constructiva del banco de tubos

N : Cantidad de tubos en el haz tubular

$h_{fg'}$: Cambio total de entalpia para el proceso de condensación pelicular (kJ/kg)

h_{fg} : Entalpia de vaporización o calor latente a la presión de saturación (kJ/kg)

F : Factor de corrección

K : Coeficiente global de transmisión (kW/m^2.ºC)

H_{man} : Altura manométrica del sistema (m)

$NPSH$: Succión positiva neta (m)

B : Sólidos totales disueltos del agua de alimentación (ppm)

C : Sólidos totales disueltos en purga de caldera (ppm)

a : Inversión inicial del proyecto ($)

b : Gasto mensual de combustible y mantenimiento de la instalación ($)

c : Ganancia total mensual para el proyecto ($)

n : Periodo de tiempo para evaluar el proyecto (meses)

$i_{prestamo}$: Tasa de interés mensual de la inversión inicial (%)

$i_{ahororro}$: Tasa de interés mensual de la ganancia obtenida (%)

Bibliografía

[1] AIR LIQUIDE "Dióxido de carbono". Enciclopedia de gases. Francia París. 2009. Consulta: 12 de Enero de 2010. http://encyclopedia.airliquide.com/encyclopedia.asp?CountryID=19&GasID=26&LanguageID=9#VaporPressureGraph>

[2] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Ashrae handbook: fundamentals. SI Edition. Jeanne Baird Associate Editor. USA, Atlanta. 2005.

[3] BARRANTES, E. "Separatas del curso". Transferencia de calor. Material de enseñanza. 2008. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Sección de Ingeniería Mecánica.

[4] CHEMICALOGIC. "Phase diagram chart". CO2 tab downloads. USA Massachusetts. 1999. Consulta: 14 de Enero de 2010. <http://www.chemicalogic.com/co2tab/downloads.htm>

[5] ELONKA, S y ROBINSON J. Operación de plantas industriales. Volumen 1. 2da Edición. 1983. Editorial McGraw-Hill. México.

[6] GOBIERNO DE PERÚ, Ministerio de energía y minas. "Precio del gas natural en Lima". Boletín semana Nº 4 - 2010 Hidrocarburos. Lima. 2010

[7] GRUNDFOS. Vertical multistage centrifugal pumps 60 hz. USA, Kansas. 2002. Consulta 19 de Mayo de 2010. <http://ptech.mnet.ca/_mndata/ptech/uploaded_files/New%20CR,CRI,CRN(E).pdf>

[8] HIDROSTAL. Bomba centrifuga ISO 2858. Lima. Consulta: 15 de Abril de 2010. 2007. <http://www.hidrostal-peru.com/images_proyectos/ejelibre2858.pdf>

[9] INDECOPI. Norma técnica peruana NTP 350.300:2002. CALDERAS INDUSTRIALES, Procedimiento para la determinación de la eficiencia térmica de calderas industriales. 2002. Lima.

[10] JIMÉNEZ, F. "Capitulo 5: Valor del dinero en el tiempo". Análisis económico en Ingeniería Mecánica. Material de enseñanza. 2007. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Sección de Ingeniería Mecánica.

[11] MORAN, M. J. y SHAPIRO, H. N. Fundamentos de termodinámica técnica. 2da Edición. 2004. Editorial Reverté. Barcelona.

[12] OSINERGMIN. Pliego tarifario máximo del servicio público de electricidad, Media Tensión. Lima. 2010. Consulta: 31 de Mayo de 2010. <http://www2.osinerg.gob.pe/Tarifas/Electricidad/PliegosTarifariosUsuarioFinal.aspx?Id=150000>

[13] PRAXAIR, Perú. Instrucciones de operación en planta de gas carbónico. Lima. Manuscrito no publicado. 2009.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 7. Volumen 4(1), 5 páginas.

EFECTO DE LA CANTIDAD RELATIVA DE CALOR GENERADO DURANTE LA SOLDADURA POR FRICCIÓN-AGITACIÓN EN LA RESISTENCIA ÚLTIMA A LA TENSIÓN DE LA ALEACIÓN AA 7075-T651.

Luis López Jiménez[1], Iván Domínguez López[1], Adrián Luis García García[1].

Resumen

La soldadura por fricción-agitación es una tecnología desarrollada en 1991 en el Instituto de Soldadura de Cambridge Inglaterra. Éste nuevo método, al ser en estado sólido, permite unir materiales de baja soldabilidad, como es el caso de las aleaciones de aluminio endurecibles por precipitación. En este innovador proceso, la unión de los materiales se lleva a cabo en estado plástico por efecto del calor de fricción y deformación generado por la herramienta durante sus movimientos de rotación y traslación. En este trabajo se investigó la influencia del calor relativo sobre la resistencia última a la tensión, generado durante el proceso de soldadura en la aleación de aluminio AA 7075-T651 utilizando 7 combinaciones entre las revoluciones por minuto la velocidad de soldadura en cm por segundo. Los resultados demuestran que la cantidad relativa de calor generada durante el proceso de soldadura juega un importante papel en la determinación de la resistencia mecánica final de la unión, en el intervalo de calentamiento investigado se encontró un valor máximo de resistencia a la tensión, correspondiente a una eficiencia del 73% con respecto al valor medio del material base.

Palabras clave: Cantidad relativa de calor, resistencia última a la tensión, soldadura por fricción-agitación.

Summary

Friction stir welding is a technology developed by the Cambridge Welding Institute, England, in 1991. This method allows welding of materials with low weldability like the aluminum alloys hardened by precipitation. This technique uses a non-consumable rotating tool to generate heat by friction and plastic deformation in the abutted edges of the joint. This work presents the study of the effect of relative heat generated during the friction-stir welding process of aluminum alloy AA 7075-T651 using 7 values of relative heat index combining different values of angular velocity and advance velocity of the tool. The experimental results show that the relative amount of heat generated during the welding process play an important role in determining the ultimate tensile strength of the welded joint, a maximum value of strength was found in the heating investigated interval, corresponding to an efficiency of 73% with respect to the base material.

Key words: Relative Amount of Heat, Ultimate Tensile Strength, Friction-Stir Welding.

Introducción

La soldadura por fricción-agitación (SFA) es una técnica desarrollada en 1991 por el Instituto de Soldadura de Cambridge, Inglaterra [1]. La técnica utiliza una herramienta rotatoria de soldadura no consumible para generar al mismo tiempo; calor de fricción y de deformación en la zona de la junta de los materiales en una sección localizada cerca de la punta agitadora y en la superficie entre el forjador y las placas [2]. La herramienta en términos generales tiene una configuración cilíndrica concéntrica, el cilindro de mayor diámetro es el forjador y el de menor es la punta agitadora. En la primera etapa la punta penetra la junta de los materiales a soldar, hasta que el forjador toca y penetra ligeramente la superficie.

[1] CICATA – IPN, Unidad Querétaro, Cerro Blanco No. 141, Colinas del Cimatario, 76090 Querétaro, México. Teléfono (442) 2290804, E-mails: luislj@uaq.mx, idominguezl@ipn.mx, agarciag@ipn.mx.

En una segunda etapa avanza la herramienta transversalmente sobre el eje x, la punta agita el material y lo va desplazando de adelante hacia atrás conforme rota, la masa acarreada se forja por efectos de la presión que va ejerciendo el forjador en la superficie del material. En la Fig. 1 se muestra un ejemplo de la herramienta y del material soldado.

La herramienta se fabrica generalmente en aceros grado herramienta, de entre los cuales el más utilizado es el H13. Debido a la demanda de esfuerzos y de fricción a la que ésta es sometida, debe recibir un tratamiento de endurecimiento que puede ser un temple y revenido o una combinación de tratamiento termoquímico con temple y revenido. Existen también herramientas sintéticas de nitruro de poliboruro cúbico para su uso en la soldadura de materiales de alto punto de fusión tales como aceros y aleaciones de titanio.

La temperatura que se alcanza durante el proceso es de aproximadamente 0.8 del punto de fusión del material que se está soldando [3], por tanto, esto facilita efectuar la unión mientras el material se encuentra en estado sólido plastificado.

Se sabe que la rotación de la herramienta y la velocidad de soldadura, son los parámetros clave en la generación del calor que determinarán el carácter de caliente o frío del proceso de soldadura [4]. Trabajos de investigación indican que existe una relación entre éstos, expresada con la ecuación siguiente [5]:

$$ICR = \frac{RPM^2}{236220V} \tag{1}$$

donde: *ICR*- índice calórico relativo, valor adimensional.
RPM- revoluciones por minuto de la herramienta.
V- velocidad de traslación de la herramienta (cm/s).

La ecuación (1) está adaptada de [5], al sistema CGS. Para la industria, la SFA puede llevar a obtener significativos ahorros en peso y tiempo de manufactura, y como consecuencia, en costos, ambas posiciones atractivas para muchas de ellas, entre las que destacan las pertenecientes a la industria de la transportación en general. Por ejemplo, en el diseño específico de los vehículos de lanzamiento Delta II y IV, representó un ahorro del 60% del costo y una reducción de tiempo de 23 a 6 días en la manufactura [6]. Pruebas hechas en el avión Eclipse 500, han demostrado que esta soldadura produce uniones de más del doble en resistencia mecánica que una línea de remaches y al menos la misma resistencia a la fatiga [7]. Para el caso de la soldadura por fusión, se eliminan los defectos del proceso de solidificación [8].

La SFA es capaz de unir metales de la misma o diferente composición química, incluso compósitos [9]. En la actualidad, el consenso general establece que la SFA ha avanzado hasta la factibilidad de aplicaciones en la industria aeronáutica tanto comercial como militar, en los casos donde la demanda principalmente es de materiales con punto de fusión y peso específico relativamente bajos [10], como las aleaciones de aluminio y magnesio.

Este trabajo de investigación se hizo con la aleación de aluminio AA 7075-T651 por su importancia, ya que debido a su relación resistencia mecánica/peso, ha encontrado aplicaciones en la industria aeroespacial [11], [12]. En los aviones se usa en la estructura principal y en la parte baja de las alas, zonas sujetas a los mayores esfuerzos, sobre todo en los momentos de despegue y aterrizaje.

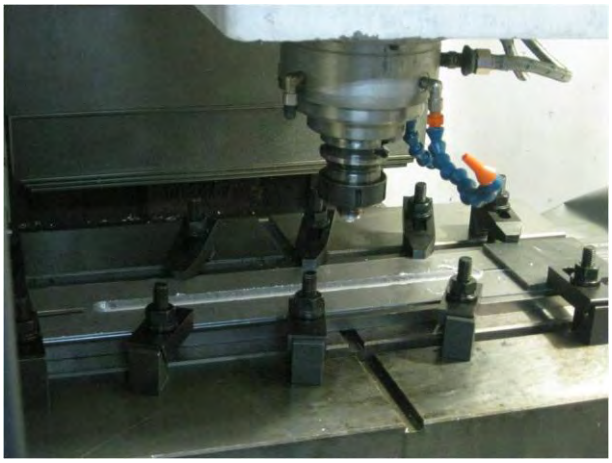


Fig. 1. Herramienta y soldadura de aleación AA 7075-T651

Desarrollo experimental

Catorce placas de la aleación comercial AA 7075-T651 de 6.35 mm de espesor, fueron cortadas con las dimensiones siguientes: 240 mm x 50 mm. Los lados se fresaron para lograr una junta íntima entre placas. Momentos antes de la soldadura, las caras cortas transversales fueron limpiadas con acetona y franela para eliminar la suciedad por grasas. La soldadura de las placas fue transversalmente a la dirección de laminación. Las siete combinaciones de los parámetros de soldadura y su calor relativo generado se muestran en la Tabla 1. La soldadura se efectuó en dos etapas: 1) Para las primeras cuatro combinaciones de las variables se utilizó un diseño de experimentos de tipo factorial 2^2 , y 2) Con los resultados de la resistencia a la tensión (RT) obtenidos de la etapa uno, se establecieron las otras tres combinaciones, de acuerdo a su tendencia.

Los cordones de soldadura fueron cortadas conforme al código AWS D1.2/D1.2M:2003: los primeros 2.54 cm se desechan, una zona para tensión y una para otro tipo de pruebas y así sucesivamente, posteriormente, de acuerdo a la norma ASTM E 08-04 se maquinaron cinco probetas para pruebas de tensión de cada una de las siete uniones. La Fig. 2 muestra un ejemplo de los cortes. Así mismo, del material base se maquinaron cinco probetas de tensión en iguales condiciones y axialmente a la dirección de rolado.

Las probetas de tensión fueron ensayadas en una máquina universal marca Instron modelo 4482. De los datos obtenidos para cada soldadura se calculó el valor promedio y su desviación estándar. El primero básicamente para ver el comportamiento de la RT en función del ICR.

Tabla 1. Parámetros de soldadura e ICR generado

No. Muestra	RPM	V (cm/s)	ICR
1	575	0.1833	7.6
2	615	0.1833	8.7
3	575	0.1500	9.3
4	615	0.1500	10.6
5	615	0.1417	11.3
6	615	0.1333	12.0
7	615	0.1250	12.8

Resultados

El valor promedio de la RT del material base fue de 592.8 MPa. La RT promedio de las soldaduras se muestra en la Tabla 2. En la Fig. 3 se puede observar gráficamente el comportamiento de la RT con respecto al ICR.

El comportamiento de la RT con respecto al ICR demuestra que se deben determinar los parámetros de la soldadura citados como *principales* que son: las RPM y la velocidad transversal de la herramienta. Es decir dados como constantes: la herramienta, su penetración y el material a soldar, se debe experimentar con las variables para encontrar el ICR que optimice la unión final de los materiales.

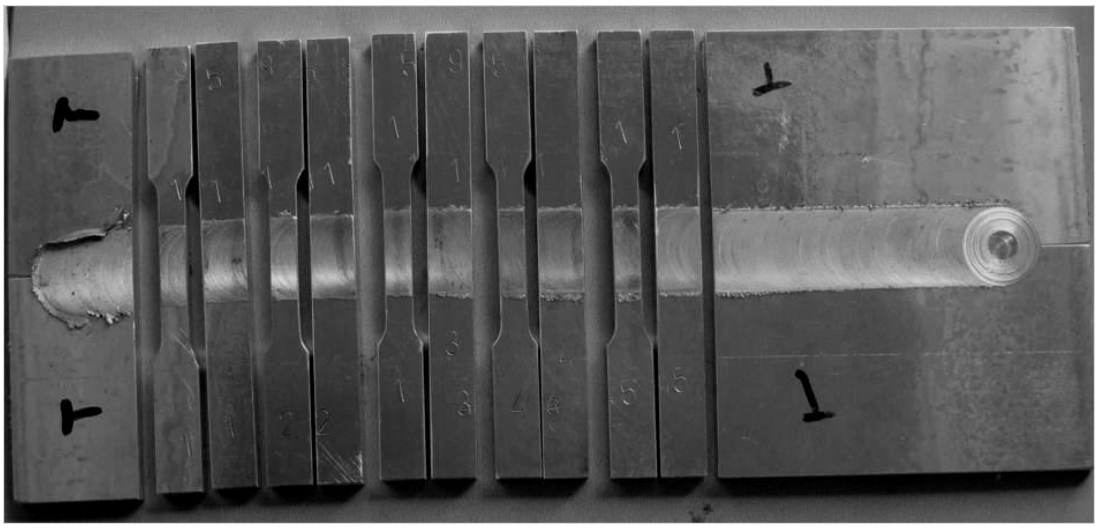


Fig. 2. Corte y maquinado de probetas de tensión.

En este experimento, por un lado, se observó que la falta de calor, por ejemplo para un valor de ICR menor a 11, existen defectos en el cordón de soldadura del tipo *uniones frías*. Por otro lado cuando se genera calor en exceso, valores de ICR mayores a 12, se presentan defectos en el cordón del tipo *hoyo de gusano* que es un defecto continuo axialmente al cordón debido al efecto de *patinaje* de la herramienta causado por la fusión incipiente del material que se está soldando.

Con valores de ICR entre 11 y 12 se encuentra el óptimo para las condiciones constantes dadas en la soldadura de ésta aleación de aluminio de gran importancia en el sector del transporte. En este caso con el valor de ICR de 11.3 se obtuvo el valor mayor de RT, pero, no necesariamente es el óptimo, lo recomendable es hacer pruebas con valores de ICR entre estos dos límites.

Con respecto al valor medio de RT para el material base (592.8 MPa) y el mayor obtenido (435.0 MPa) en el experimento se tuvo una eficiencia del 73.4%, con la expectativa de mejorarla. Esta eficiencia de soldadura encontrada experimentalmente es buena si se considera que la referencia para materiales metálicos y elementos estructurales de vehículos aeroespaciales, el manual MIL-HDBK-5j, establece una resistencia mínima de 292 MPa en uniones remachadas para ésta aleación de aluminio en espesores de 6.35 mm.

Este límite normalizado para uniones remachadas, tiene una eficiencia de junta, considerando el valor medio obtenido del material base, de 49.2%. Esto demuestra la bondad de la nueva tecnología de la soldadura por fricción-agitación.

Tabla 2. Resultados promedio de RT en función del ICR

ICR	RT (MPa)	Desviación Estándar
7.6	332.2	5.4
8.7	326.0	2.2
9.3	345.6	4.9
10.6	349.2	6.2
11.3	435.0	8.9
12.0	425.6	17.0
12.8	352.5	56.5

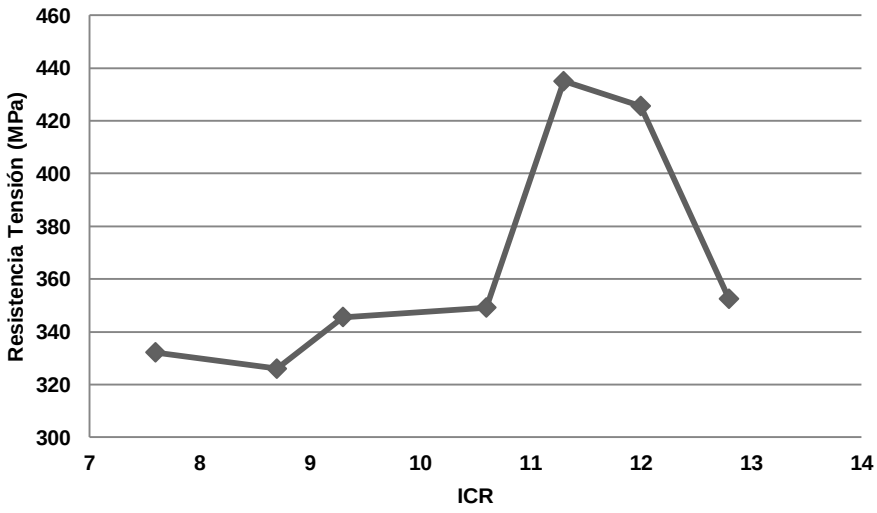


Fig. 3. Comportamiento de la RT en función del ICR

Discusión

Los resultados obtenidos demuestran que el ICR como indicador de la cantidad de calor relativa generada durante la soldadura, es un medio importante para encontrar los parámetros de la SFA que optimicen los valores de la RT para un material dado.

La SFA es una buena opción para sustituir las técnicas actuales de unión de las aleaciones consideradas insoldables por fusión, como el remachado. Esta nueva tecnología permitirá reducir tiempos y materiales de

producción lo que reditúa en menores costos de construcción y de operación de los medios de transporte, debido al menor consumo de combustibles al ser más ligeras las estructuras que se construyan utilizando SFA.

Si las condiciones y el equipo lo permiten, es recomendable ir cerrando el intervalo de ICR que se va encontrando durante las etapas de prueba, para tal fin se pueden apoyar en modelos de diseño de experimentos como el factorial por ejemplo.

En cuanto a la sanidad del cordón, se observa que mientras existan defectos considerados macro como el hoyo de gusano o las uniones frías, se encuentra que la RT tiene valores bajos, además de los posibles problemas de la unión en cuanto a otras propiedades mecánicas que se deterioran y que no se utilizan en este trabajo como indicadores de la calidad de la soldadura.

Por lo estrecho del intervalo encontrado de ICR óptimo, se puede concluir que esta aleación de aluminio AA 7075-T651 clasificada como insoldable por fusión, también es un tanto complicado encontrar los parámetros óptimos de la SFA.

Reconocimientos

Luis López Jiménez agradece a la Universidad Autónoma de Querétaro y al CIDESI-Querétaro por el apoyo para llevar a cabo esta investigación.

Referencias

[1] Schneider J. and Nunes Jr A. C. Thermo-mechanical Processing in Friction Stir Welds. NASA Faculty Fellowship Program. Marchal Space Fligth Center at the University of Alabama. 2002 (14 agosto). pp 1-6.

[2] Thomas W. M., Johnson K. I., Wiesner C. S. Friction Stir Welding–Recent Developments in Tool and Process Technologies. Adv. Eng. Mater. Vol. 5. 2003 (30 julio). p. 485.

[3] Roy G., Nandan R., and DebRoy T. Dimensionless Correlation to Estimate Peak Temperature During Friction Stir Welding. Science and Technology of Welding and Joining. 2006. Vol 11 (5). p. 606.

[4] Kalya P., Krishnamurthy K., Mishra R. S. and Baumann J. A. Specific Energy and Temperature Mechanistic Models for Friction Stir Processing of Al-F357, TMS Annual Meeting & Exhibition, Orlando Florida, 2007 (25 febrero). p. 114.

[5] Kandukuri S., Arbegast W. J., Patnaik A. K. and Allen C. D. Development of Design Curves for Tensile Strength and Fatigue Characteristics of 7075 T73 Aluminum FSW Butt Joints, TMS Annual Meeting & Exhibition, Orlando Florida, 2007 (25 febrero). p. 29.

[6] Delany F., Kallee S. W., Russell M. J. Friction Stir Welding of Aluminum Ships. International Forum on Welding Technologies in the Shipping Industry. Shanghai China. 2007 (7 septiembre 2011). http://www.twi.co.uk/content/spswkjune07.html .

[7] Christner B., Enabling Technology for an Aircraft Alternative. ASME. Mechanical Engineering Design. Features, 2003 (marzo).

[8] Nakata K., Kim Y.G, Ushio M., Hashimoto T. and Jyogan S. Weldability of High Strength Aluminum Alloys by Friction Stir Welding. Iron and Steel Institute of Japan International. Vol. 40. (Supplement). 2000 (15 febrero). pp. S15-Sl9.

[9] Zadpoor A, Sinke J, Benedictus R, Pieters R. The Mechanical Properties and Microstructure of Friction Stir Welded Tailor-made Blanks, *Materials Science & Engineering A*. Vol. 494 (1-2). 2008 (25 octubre). pp. 281-290.

[10] FAA, Federal Aviation Administration. 2008 (7 septiembre 2011). www.faa.gov/aircraft/air_cert/design_approvals/csta/publications/media/friction_stir_welding.pdf. 2005.

[11] Andrzej Z., Małgorzata W., Andrzej G., Elżbieta J. & Jacek C. Influence of Retrogression and Reaging (RRA) Heat Treatment on Microstructure, Mechanical and Chemical Behaviour of an Al–Zn–Mg alloy. Advances in Materials Science. Vol. 2 (1). 2002 (noviembre). pp. 33- 42.

[12] Liangming Y., Jian S., Zhoubing L., Junpeng L. & Xiaodong Y. Microstructure evolution of Al-Zn-Mg-Cu-Zr alloy during hot deformation. Rare Metals. Vol. 29 (4). 2010 (agosto), pp. 426- 432.

EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 109. Volumen 4(1), 13 páginas

UN METODO PARA EL DISEÑO OPTIMO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE GNV DE MOTORES AUTOMOTRICES DE ENCENDIDO POR CHISPA

Juan Guillermo Lira Cacho[1]

Resumen

Se presentan los fundamentos teóricos de un modelo matemático para el cálculo y diseño óptimo del sistema de alimentación de GNV de motores automotrices de encendido por chispa. El modelo se basa en la solución numérica de las ecuaciones de conservación de la energía, continuidad y el empleo de relaciones conocidas de termodinámica y mecánica de fluidos. Se utilizan ecuaciones para flujo compresible y el equilibrio mecánico de los balancines del reductor de presión. En el diseño del mezclador de gas se calcula los parámetros geométricos para obtener una mezcla aire combustible estequiométrica en el régimen nominal del motor. También se proponen accesorios del mezclador para optimizar su funcionamiento y mejorar la economía de combustible.

Palabras clave: GNV; relación crítica de presiones; reductor de presión; mezclador de gas

Resumen

Se presentan los fundamentos teóricos de un modelo matemático para el cálculo y diseño óptimo del sistema de alimentación de GNV de motores automotrices de encendido por chispa. El modelo se basa en la solución numérica de las ecuaciones de conservación de la energía, continuidad y el empleo de relaciones conocidas de termodinámica y mecánica de fluidos. Se utilizan ecuaciones para flujo compresible y el equilibrio mecánico de los balancines del reductor de presión. En el diseño del mezclador de gas se calcula los parámetros geométricos para obtener una mezcla aire combustible estequiométrica en el régimen nominal del motor. También se proponen accesorios del mezclador para optimizar su funcionamiento y mejorar la economía de combustible.

Palabras clave: GNV; relación crítica de presiones; reductor de presión; mezclador de gas

Introducción

Como era previsible, pasados los efectos de la crisis financiera, la tendencia del precio internacional del petróleo, nuevamente está en alza e inexorablemente seguirá aumentando como consecuencia del agotamiento de las reservas mundiales. Nuestro país no es la excepción y se prevé un inminente aumento de los precios de los derivados del petróleo, esto afectará, en primer lugar, al transporte automotriz, que en gran medida es dependiente de este combustible. Sin embargo, afortunadamente, cada vez es mayor el parque automotor nacional convertido a gas natural vehicular (GNV) [Ref.7]. Uno de los factores que influye a que está cantidad no sea mayor, es el relativo alto costo de los kits de conversión, que básicamente son importados. En este trabajo se presenta un método de cálculo y estudio de los sistemas de alimentación de GNV que servirá como base para no solamente seleccionar estos sistemas sino también para eventualmente diseñarlos y construirlos con lo cual disminuirían significativamente los precios y se desarrollaría tecnología propia.

[1] Instituto de Motores de Combustión Interna, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. E-mail: glira@uni.edu.pe

El GNV como combustible

El GNV es el gas natural comprimido a una presión aproximada de 200-210 bar. El gas natural es una mezcla de gases naturales (principalmente, metano CH_4) y otros hidrocarburos parafínicos, además de CO_2, N_2 y otras impurezas. Las principales propiedades del GNV se muestran en la tabla 1.

Tabla1. *Propiedades del GNV [Ref.1,2,3,6].*

Propiedades	GNV
▪ Densidad, kg/m^3 (kg/L)	0,68 (0,415*)
▪ Densidad relativa	0,56-0,60
▪ Temp. de ebullición, °C	-162
▪ Relación estequiom., kg/kg	16,8-17,4
▪ Relación estequiom., m^3/m^3	9,6-10,2
▪ Poder calorífico, MJ/kg	48,9-50,1
▪ Poder calorífico, MJ/m^3 (MJ/L)	33,3-34,1 (20,9*)
▪ Poder calorífico por m^3 de mezcla, MJ/m^3	3,1
▪ Temperatura. de autoencendido, °C	650-700
▪ Límites de inflamabilidad, % en vol.	5,0-15,0
▪ Nº de octano (Research)	115-125
▪ Condiciones de almacenamiento	20-25 MPa

* en estado líquido.

Sistema de alimentación de NV

Los componentes principales de un sistema de alimentación de GNV se muestran en la Fig. 1 [Ref.8].

Estos elementos se unen entre si mediante tuberías, mangueras, conectores, etc., de diferentes materiales y especificaciones, según corresponda a la zona de alta o baja presión.

Funcionamiento del Sistema.-

El GNV que sale del tanque 1, pasando por las válvulas del cilindro 2 y recarga 3, sin pérdida sensible de presión, es conducido por una tubería especial de acero a la electroválvula 5 (con filtro) y, luego, al reductor-regulador-calentador 6; antes de ingresar a este elemento se registra la presión de ingreso con el manómetro 4.

El calentamiento en el reductor es para compensar el gran enfriamiento que se produce al reducirse la presión del GNV, lo que evita el congelamiento de las partículas de agua contenidas en el GNV (hidratos de metano). El calor necesario para ello lo proporciona la circulación del agua del sistema de enfriamiento del motor 10.

A la salida del reductor, la presión es muy cercana a la atmosférica. Después, el gas ingresa al mezclador 8 debido a la depresión que se produce por la succión del motor. Con el tornillo 18 se regula la cantidad de gas al motor en el régimen de ralentí, mientras que para obtener la potencia máxima (a la velocidad de crucero) se regula con el tornillo 16. Durante el arranque en frío, o en los regímenes de pequeñas cargas, el vacío que hay en el ducto de admisión, detrás de la válvula de mariposa 9, es transmitido, a través de la manguera 17, a una pequeña cámara (llamada de vacío), donde existe un diafragma conectado al balancín de la tercera etapa del reductor, incrementando un poco el flujo de gas al motor en estos regímenes. La elección entre el funcionamiento con gasolina o con GNV se realiza con el conmutador eléctrico 7 que está instalado en la cabina del automóvil.

Fundamentación teórica

En el modelo matemático del sistema de alimentación, se considera al GNV como un gas ideal, compresible, con calores específicos constantes.

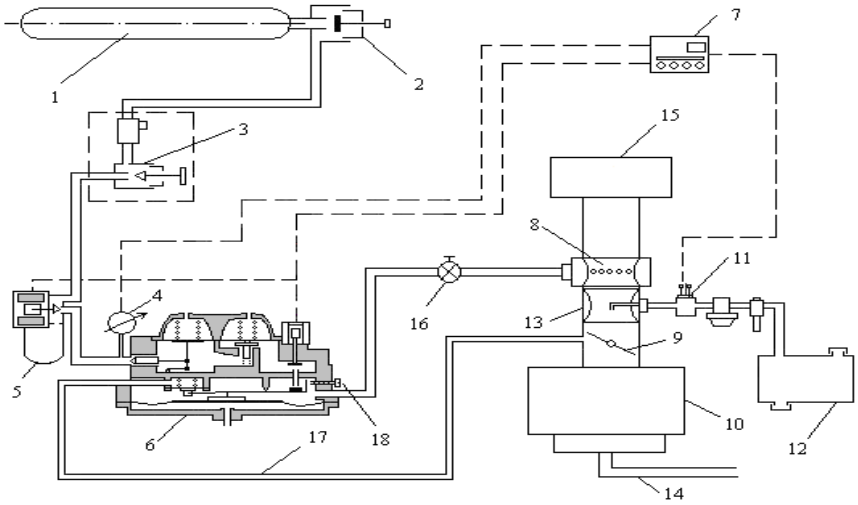


Fig. 1. *Esquema del sistema de alimentación dual GNV/gasolina: 1-Tanque de GNV; 2-Válvula de tanque; 3-Válvula de recarga; 4-Manómetro; 5-Electroválvula con filtro; 6-Reductor-calentador; 7-Conmutador; 8-Mezclador; 9-Válvula de mariposa 10-Motor; 11-Electroválvula de gasolina; 12-Tanque de gasolina; 13-Carburador; 14-Tubo de escape; 15-Filtro de aire; 16-Tornillo regulador de alta; 17-Manguera de vacío; 18-Tornillo de mínima.*

El criterio para establecer el régimen del flujo del gas en la sección más estrecha de un ducto cualquiera, es a través del número de Mach (*M*). El máximo flujo ocurre cuando la velocidad en esta sección es igual a la del sonido (*M*=1). A esta condición se la llama crítica, y a la relación de presiones correspondiente, relación crítica [Ref.2,3]:

$$r_c = \frac{p_g}{p_0} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \tag{1}$$

donde p_g y p_0 son las presiones en la sección más estrecha de un ducto y de estancamiento, respectivamente; k es el exponente adiabático del gas; para el GNV se puede considerar k=1,248, y por lo tanto, r_c=0,555 [Ref. 2].

Para régimen crítico o supercrítico, el flujo másico de gas se calcula con la fórmula:

$$\dot{m} = \frac{C_d A_g p_0}{\sqrt{RT_0}} k^{\frac{1}{2}} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{(k+1)}{2(k-1)}} \tag{2}$$

donde $C_d A_g$ es el área efectiva en la sección más estrecha del ducto (garganta); p_0 y T_0 son la presión y temperatura de estancamiento y R es la constante del gas.

Para flujo subcrítico, el flujo másico es [Ref.3]:

$$\dot{m} = \frac{C_d A_g p_0}{\sqrt{RT_0}} \left(\frac{p_g}{p_0}\right)^{\frac{1}{k}} \left\{\frac{2k}{k-1}\left[1-\left(\frac{p_g}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]\right\}^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

La ecuación 3, cuando $A_g << A_0$, también puede ser presentada como [Ref.3]:

$$\dot{m} = C_d A_g \left[2\rho_0 (p_0 - p_g)\right]^{0.5} \Phi \tag{4}$$

donde la función Φ está dada por [Ref.3]:

$$\Phi = \left\{ \frac{\frac{k}{k-1} \cdot \left[\left(\frac{p_g}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_g}{p_0} \right)^{\frac{(k+1)}{k}} \right]}{\left(1 - \frac{p_g}{p_0} \right)} \right\}^{\frac{1}{2}} \tag{5}$$

La ecuación 4 (con $\Phi \approx 1$), es comúnmente utilizada para flujos a través de agujeros de fluidos incompresibles o casi incompresibles (cuando $(p_0 - p_g)/p_0 \leq 0{,}1$) [Ref.3].

Para régimen supercrítico ($p_g / p_0 < r_c$), la ecuación 2 también puede ser reordenada para que adquiera la forma de la ecuación 4, sabiendo de antemano que, para cualquier relación de presiones p_g / p_0, el flujo másico es constante y que:

$$\Phi = \frac{\frac{p_0}{\sqrt{RT_0}} k^{\frac{1}{2}} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{(k+1)}{2(k-1)}}}{\left[2\rho_0 (p_0 - p_g) \right]^{\frac{1}{2}}} \tag{6}$$

El caudal de gas (GNV) al motor $\dot{V}_g$, en m^3/s (a condiciones estándares), está relacionado con el caudal de la mezcla aire combustible ($\dot{V}_{mz}$) mediante la siguiente expresión [Ref. 2,4]:

$$\dot{V}_g = \frac{\dot{V}_{mz}}{1 + \lambda L_0} \tag{7}$$

El coeficiente de descarga del mezclador (C_d), se obtiene del gráfico de la Fig. 3. Entonces, el caudal de mezcla aire gas del motor convertido, en relación al caudal original de aire aspirado por el motor antes de la conversión, se calcula con las fórmulas 11 y 12:

$$\frac{\dot{V}_{mz}}{\dot{V}_{a,0}} = \frac{\eta_{v,1}}{\eta_{v,0}} \approx \frac{p_{a,1}}{p_{a,0}} = \frac{p_{a,0} - \Delta p_d}{p_{a,0}} \tag{11}$$

$$\frac{\dot{V}_{mz}}{\dot{V}_{a,0}} = 1 - \frac{(\dot{V}_{a,1} / C_d A_g)^2 \cdot (\rho_0 / 2)}{0{,}80\, p_0} \tag{12}$$

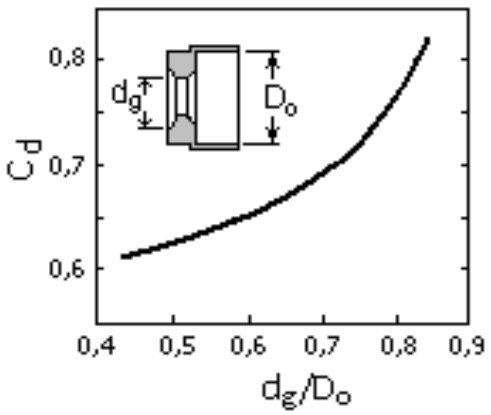


Fig.3. *Variación del coeficiente de descarga del mezclador [Ref.4].*

donde $\eta_{v,0}$ y $\eta_{v,1}$ y son las eficiencias volumétricas antes y después de la conversión, respectivamente; $p_{a,0}$ y $p_{a,1}$ son las presiones dentro del cilindro al final del proceso de admisión antes y después de la conversión, respectivamente.

Reductor-Regulador de GNV.-

El reductor o regulador de presiones de GNV (ver Fig. 4) es el componente más importante del sistema. Es un dispositivo neumático, que se encuentra ubicado entre el tanque y el mezclador. Sus funciones principales son:

- Dosificar automáticamente la cantidad de gas en función del régimen de velocidad y carga del motor.
- Reducir la presión desde 200 bar (presión máxima) hasta una presión aproximada a la atmosférica.
- Compensar las variaciones de la presión en el tanque de gas.

En general, para garantizar el trabajo normal de un motor, los reductores se diseñan o seleccionan para el régimen nominal del motor [Ref.2,4], es decir, para el máximo caudal de gas, con el mínimo valor útil de la presión en el tanque de gas (aproximadamente, de 4 a 5 bar).

La presión del gas en los compartimientos de las dos primeras etapas de un regulador es necesario regularla de tal forma que, en lo posible, la caída de presión en los obturadores de cada etapa, ocasione un flujo con régimen supercrítico en los diferentes regímenes del motor [Ref.2,4]. Esta condición es importante para garantizar una presión de suministro al mezclador lo más estable posible.

En el obturador (válvula) de la primera etapa del reductor, el régimen es casi siempre supercrítico, por lo que la velocidad en la sección de paso de la válvula es igual a la del sonido, y el flujo másico (en kg/s) se calcula a partir de la fórmula 2, o sea:

$$\dot{m}_1 = \frac{A_{r1} p_{a\,\lim}}{\sqrt{R T_{a\,\lim}}} \cdot k^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \tag{13}$$

donde A_{r1} es el área de paso efectiva equivalente del flujo a través del tubito surtidor y del obturador de la primera etapa; p_{alim} es la presión de ingreso al reductor, la cual aproximadamente es igual a la presión en el tanque de GNV; T_{alim} se considera aproximadamente igual a la temperatura atmosférica.

El régimen del flujo a través del obturador de esta etapa se mantiene en estado supercrítico hasta cuando la presión en el tanque es de 4 a 5 bar, es decir, hasta cuando la masa de gas en el tanque se ha reducido a 2-2,5% de la masa original, o sea, con el tanque lleno a 200 bar. Por debajo de esta presión la masa que queda en él se considera inutilizable [Ref.2,6].

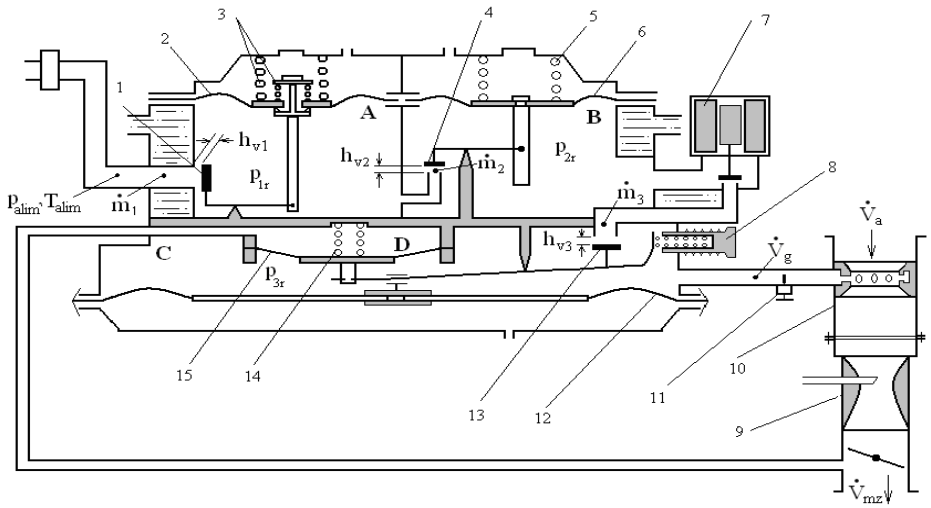


Fig. 4. *Esquema del reductor de GNV: A, B, C, D -Compartimientos de la 1ra, 2da, 3ra etapas y de la cámara de vacío, respectivamente; 1, 4, 13 -Obturadores; 2, 6, 12 y 15-Diafragmas; 3, 5, 14-Resortes; 7-Electroválvula de corte; 8-Tornillo de mínima; 9-Carburador; 10-Mezclador; 11-Tornillo regulador de alta.*

En el obturador de la segunda etapa del reductor, el régimen del flujo puede ser tanto supercrítico como subcrítico dependiendo esto de la relación de presiones p_{2r}/p_{1r}.

Si el régimen del flujo es supercrítico, entonces $p_{2r}/p_{1r}<r_c$; y, el flujo másico $\dot{m}_2$, se calcula con la misma fórmula 13, pero reemplazando A_{r1} por A_{r2}, p_{alim} por p_{1r} y T_{alim} por T_{1r}.

En caso de régimen subcrítico, entonces $\dot{m}_2$ se calcula a partir de la fórmula 3, o sea:

$$\dot{m}_2 = \frac{A_{r2}\, p_{1r}}{\sqrt{RT_{1r}}} \cdot \left(\frac{p_{2r}}{p_{1r}}\right)^{\frac{1}{k}} \cdot \sqrt{\frac{2k}{k-1}\left[1-\left(\frac{p_{2r}}{p_{1r}}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]} \qquad 14)$$

donde A_{r2} es el área de paso efectiva equivalente del flujo a través del tubito surtidor y del obturador de la segunda etapa; p_{1r} y p_{2r} son las presiones del gas en los compartimientos de la primera y segunda etapa, respectivamente; T_{1r} se considera aproximadamente igual a la temperatura atmosférica.

En el obturador de la tercera etapa del reductor, generalmente el régimen del flujo es subcrítico debido a que las pérdidas de presión son relativamente pequeñas, por lo tanto, el flujo másico se calcula también con la fórmula 14, pero reemplazando p_{1r} por p_{2r}, p_{2r} por p_{3r} y T_{1r} por T_{2r}.

Flujo volumétrico de gas que sale del regulador.-

El flujo de gas que sale del reductor y se dirige a la garganta del mezclador, al ser éste prácticamente incompresible, se calcula a través de la fórmula 4 (con $\Phi \approx 1$):

$$\dot{V}_g = A_{sal} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_g}} \cdot \sqrt{(p_{3r} - p_g)} \qquad (15)$$

donde A_{sal} es el área efectiva equivalente de los agujeros de salida del reductor, tornillo regulador de alta y los agujeros del mezclador; ρ_g es la densidad del gas a las condiciones atmosféricas y p_g es la presión absoluta en la garganta del mezclador (ver fórmula 10).

Esta ecuación también se puede expresar como:

$$\dot{V}_g = A_{sal} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_g}} \cdot \sqrt{\Delta p_{3r} + \Delta p_d} \qquad (16)$$

donde Δp_{3r} es la presión manométrica en el compartimiento de la tercera etapa; Δp_d es la depresión en la garganta del mezclador.

Es evidente que para que se cumpla la ecuación de continuidad en todo el sistema de alimentación de GNV, se debe verificar que:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \rho_g \dot{V}_g \qquad (17)$$

Area efectiva equivalente

En varios conductos del sistema de alimentación de combustible, las resistencias hidráulicas están instaladas en serie. Así, para calcular el área efectiva de paso de las válvulas de los reductores (A_r), hay que tomar en cuenta que el tubito surtidor y el área lateral del anillo imaginario que se forma cuando el obturador se abre (ver Fig. 5) están en serie.

Esta área se calcula con la siguiente fórmula [Ref.4,6]:

$$A_r = C_d \pi d_0 h_v \sqrt{\frac{1}{1+K^2}} \qquad (18)$$

donde C_d y d_0 son el coeficiente de descarga y el diámetro a la salida del surtidor, respectivamente; h_v es el levantamiento del obturador y K es un factor que relaciona a las dos secciones en serie antes mencionadas, y se calcula con:

$$K = \frac{C_d \pi d_0 h_v}{\left(\frac{\pi d_0^2}{4}\right)} \tag{19}$$

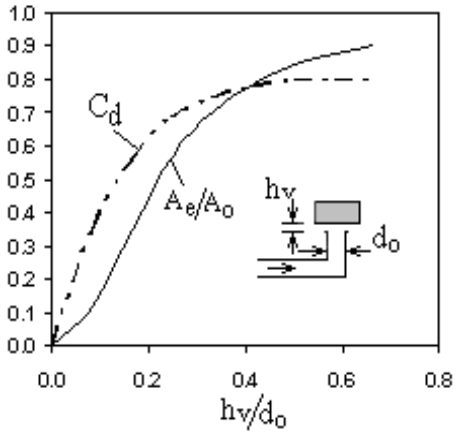


Fig. 5. *Variación del coeficiente de descarga del surtidor y del área efectiva.*

El área efectiva equivalente de salida, entre el regulador-dosificador y el mezclador, se calcula con la siguiente fórmula:

$$\mathrm{A_{sal}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(A_1 C_{d,1})^2} + \frac{1}{(A_2 C_{d,2})^2} + \frac{1}{(A_{aguj} C_{d,aguj})^2}}} \tag{20}$$

donde $A_1 C_{d,1}$, $A_2 C_{d,2}$ y $A_{aguj} C_{d,aguj}$ son las áreas efectivas de la salida del reductor, tornillo de alta y los agujeros del mezclador, respectivamente.

Equilibrio de momentos en los balancines de los obturadores

Para una posición abierta cualquiera de los obturadores del reductor, mientras éste no haya llegado a su posición tope ($h_v < h_0$), se considera que los momentos que actúan sobre los balancines de éstos se encuentran en equilibrio. Para el balancín de la primera etapa del reductor, la ecuación de equilibrio de momentos es [Ref.4]:

$$a \cdot (N_{m1} - Q_{r1}) - b \cdot P_{v1} \tag{21}$$

donde N_{m1}, Q_{r1} y P_{v1} son las fuerzas que ejercen el diafragma, el resorte y el obturador sobre el balancín de esta etapa del reductor, respectivamente; a y b son los brazos de palanca de las fuerzas que actúan sobre el balancín.

Desarrollando esta ecuación, obtenemos:

$$(p_{1r} - p_0) A_{m1} \alpha_{m1} u_1 - (Q_{r1} + k_{r1} x) \cdot u_1 - (p_{a\lim} - p_{1r}) A_{a1} \alpha_{v1} = 0 \tag{22}$$

donde p_{alim} y p_{1r} dson las presiones de alimentación y en la primera etapa, respectivamente; A_{a1}, es el área de la sección de paso de la válvula; α_{v1} es un coeficiente empírico del obturador (α_{v1}=1-1,15) [Ref.2]. Q_{r1} y k_{r1} son la compresión previa del resorte y su constante de rigidez, respectivamente; u_1

(=b/a) es la relación de los brazos de palanca; A_{m1} es el área del diafragma y α_{m1} es un coeficiente empírico del diafragma (α_{m1}=0,5-0,7) [Ref.2].

Cabe indicar que cuando el reductor no trabaja, la posición de los obturadores de la primera y segunda etapa es normalmente abierta (por acción de los resortes). Cuando el reductor funciona, la posición de equilibrio y el caudal de combustible están determinados por el equilibrio de momentos que actúan sobre el balancín.

Cuando el extremo del balancín (donde está el diafragma) llega al tope inferior, entonces la abertura del obturador alcanza su valor máximo (h_v=h_0). En este caso, el caudal de gas está determinado exclusivamente por la diferencia de presiones, y el área efectiva del obturador es constante. Para la segunda etapa, el análisis es idéntico al caso anterior. Para el balancín de la tercera etapa del reductor, la ecuación de equilibrio de momentos es (ver Fig. 6):

$$b.(N_{m3} - Q_{r3}) - d.(N_{mcv} - Q_{cv}) - a.P_{v3} + c.Q_{ral} = 0 \tag{23}$$

donde N_{m3}, Q_{r3} y P_{v3} (=$[p_{2r}-p_{3r}].A_{a3}$) son las fuerzas que ejercen el diafragma, el resorte y el obturador sobre el balancín, respectivamente; N_{cv} y Q_{cv} son las fuerzas que ejercen el diafragma y el resorte de la cámara de vacío sobre el balancín, respectivamente; Q_{ral} es la fuerza que ejerce el resorte de mínima sobre el balancín (el cual regula la velocidad de ralentí).

Desarrollando esta ecuación, obtenemos:

$$(p_{3r} - p_0)A_{m3}\alpha_{m3}u_3 - (Q_{0,3} - k_{r3}x)\cdot u_3 - (p_{3r} - p_k)A_{mcv}\alpha_{mcv}u_4 + (Q_{0,cv} + k_{cv}y)\cdot u_4 - (p_{2r} - p_{3r})A_{a3}\alpha_{v3} + (Q_{0,ral} + k_{ral}z)\cdot u_5 = 0 \tag{24}$$

donde p_{r3}, p_{2r} y p_k son las presiones en la tercera etapa, segunda etapa y cámara de vacío, respectivamente; k_{r3}, k_{cv}, k_{ral} son las constantes de rigidez del resorte principal de la tercera etapa, cámara de vacío y regulación de la velocidad de ralentí, respectivamente; A_{m3}, A_{cv}, A_{a3} son las áreas de los diafragmas de la tercera etapa, cámara de vacío y sección de paso del surtidor de esta etapa, respectivamente; u_3 (=b/a), u_4 (=d/a) y u_5 (=c/a) son las relaciones de los brazos de palanca respectivos; x (=$h_v u_3$), y (=$h_v u_4$), z (=$h_v u_5$), son las contracciones que sufren los resortes respectivos (ver Fig. 6).

En el caso de la última etapa del reductor, cuando éste no funciona está normalmente cerrado (por acción de los resortes de mínima y de la cámara de vacío), lo cual es particularmente importante cuando el motor está apagado.

La existencia de la cámara de vacío es opcional y no todos los reductores lo tienen. Su función es incrementar el caudal de combustible en los regímenes de bajas cargas.

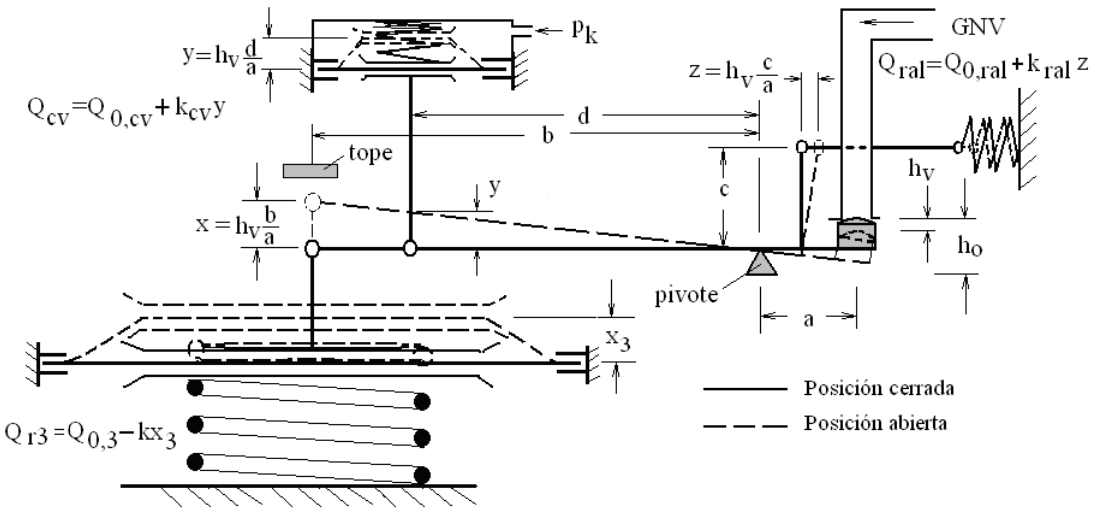


Fig. 6. *Fuerzas y momentos que actúan sobre el balancín de la tercera etapa*

Cálculo del calentamiento del GNV

La brusca reducción de la presión del GNV (ver Fig. 7), principalmente en la primera etapa del reductor, provoca un gran descenso de su temperatura debido al efecto Joule Thompson [Ref.2,6]. En la tabla 2 se muestran los descensos de la temperatura del gas en el reductor (ΔT), el valor del coeficiente Joule Thompson ($\mu = dT / dp\big|_h$), para diferentes presiones iniciales hasta la presión final igual a la atmosférica, y la cantidad de calor necesario (cambio de entalpía específica, en kJ/kg) para compensar este descenso de temperatura.

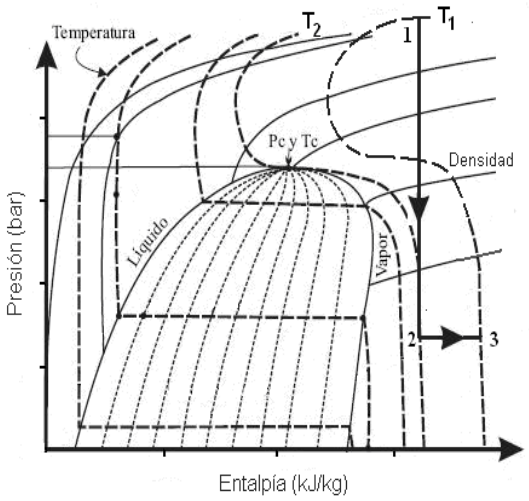


Fig.7. *Diagrama presión entalpía: 1-2 es el enfriamiento en el reductor ($T_2<T_1$); 2-3 es el calentamiento con agua ($T_3>T_2$ y $T_3=T_1$)*

Tabla 2. *Variación del coeficiente Joule Thompson en función de la presión.*

T_i (K)	p_i (bar)	ΔT (ºC)	μ (ºC/bar)	Δh_{GNV} (kJ/kg)
290	200	90	0,493	190
	100	50	0,509	107
	70	35	0,524	75
	10	9	0,839	18
300	200	82	0,405	185
	100	45	0,441	107
	70	32	0,461	75
	10	8	0,783	25
310	200	77	0,398	168
	100	42	0,416	93
	70	29	0,432	68
	10	8	0,787	20

La disminución de la temperatura del gas en el reductor se puede calcular con la fórmula:

$$\Delta T = T_i - T_f = \int_{p_i}^{p_f} \mu dp \tag{25}$$

Este gradiente de temperaturas se pude calcular por integración numérica si se conoce la variación del coeficiente de Joule Thompson en función de la presión, o también, utilizando un diagrama termodinámico presión- entalpía [Ref.9].

Para mantener la misma temperatura inicial del gas, es decir, para compensar el descenso de la temperatura en el reductor, es necesario calentar el GNV, utilizando para ello el agua caliente del sistema de enfriamiento del motor. El calor entregado por el agua será igual al calor absorbido por el GNV:

$$\dot{m}_{H_2O}\, c_{p,H_2O} \Delta T_{H_2O} = \dot{m}_g\, \Delta h_{GNV} \tag{26}$$

donde $\dot{m}_{H_2O}$ y $\dot{m}_g$ son los flujos másicos de agua y gas, respectivamente; c_{p,H_2O} y ΔT_{H_2O} son el calor específico del agua y la diferencia de temperaturas del agua entre la entrada y salida del reductor, respectivamente. Este gradiente de temperaturas varía entre 7 y 12ºC [Ref.6].

A partir de (26) se calcula el flujo de agua necesario para el calentamiento del gas. El área necesaria para este calentamiento se calcula con la fórmula de la transferencia de calor por convección [Ref.1,2]:

$$A_{GNV} = \frac{\dot{m}_g}{h \Delta T_m} \tag{27}$$

donde *h* es el coeficiente de convección y ΔT_m es la media logarítmica de la diferencia de temperaturas entre el gas y el agua en la entrada y salida del reductor.

El coeficiente de convección *h* se calcula a través de la fórmula [Ref.2,6]:

$$h = 0{,}021 \cdot \frac{k}{D} \cdot \mathrm{Re}^{0{,}8} \tag{28}$$

Donde *k* es coeficiente de conductividad térmica del GNV, *D* es el diámetro hidráulico medio en la cavidad de la primera etapa del reductor y *Re* es el número de Reynolds del gas.

La modelación matemática del sistema de alimentación

La modelación matemática del sistema está basada en la solución simultánea de las ecuaciones de conservación de la masa a través de las diferentes secciones de paso del flujo de gas y de equilibrio de fuerzas en los balancines de las válvulas de los reductores de presión. La modelación del sistema permite obtener las principales medidas y parámetros de los reductores de presión (presiones en las cavidades y diámetros de los agujeros de las válvulas) así como las dimensiones básicas del mezclador.

Los diagramas de flujo del programa de cálculo se muestran en las Figs. 10 y 11 del anexo. El programa de cálculo se desarrolló en Matlab (versión R2009a).

Análisis de resultados

Para demostrar la funcionalidad del modelo matemático, éste se aplicó para determinar las características del sistema de alimentación de GNV para un motor a gasolina de las siguientes especificaciones.

- Tipo: E.CH., de cuatro tiempos, con carburador o inyectores.
- Cilindrada: 1.800 cm^3
- Número de cilindros: 4
- Potencia nominal: 73 kW a 6.000 rpm.

Las características del reductor-regulador seleccionado se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3a. *Características del reductor de presiones. Primera etapa.*

Parámetro	Valor
Area del diafragma, cm^2	26,21
Diámetro del surtidor, mm	4
Rigidez del resorte, N/m	$3{,}1 \times 10^4$
Brazo de palanca del diafragma, mm	22
Brazo de palanca del obturador, mm	8,5
Levantamiento máximo del obturador, mm	0,7

Tabla 3b. *Características del reductor de presiones. Segunda Etapa*

Parámetro	Valor
Diámetro del diafragma, mm	70
Diámetro del surtidor, mm	6
Rigidez del resorte, N/m	$3x10^3$
Brazo de palanca del diafragma, mm	42
Brazo de palanca del obturador, mm	8
Levantamiento máximo del obturador, mm	2,5

Tabla 3c. *Características del reductor de presiones. Tercera Etapa*

Parámetro	Valor
Diámetro del diafragma, mm	200
Diámetro del surtidor, mm	10
Rigidez del resorte de mínima, N/m	$2x10^3$
Brazo de palanca del diafragma, mm	46
Brazo de palanca del resorte de mínima, mm	5
Brazo de palanca del obturador, mm	10
Levantamiento máximo del obturador, mm	3,3

Con estas características del reductor se obtuvieron las especificaciones del mezclador, las cuales se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. *Características del mezclador.*

Parámetro	Valor
• Diámetros de entrada y salida, mm	64,2
• Diámetro de la garganta, mm	23,8
• Nº de agujeros	8
• Diámetro de los agujeros, mm	2

Uno de los parámetros de funcionamiento más importante de un motor es el coeficiente de exceso de aire λ (ver Fig. 8), el cual caracteriza la composición de la mezcla aire-combustible. Para los motores E.CH., este coeficiente debe fluctuar alrededor de 1 para cualquier régimen de velocidad o carga. Esta regulación de λ, en los motores a gas, lo realiza automáticamente el regulador de presión.

Una forma de comprobar que el programa de cálculo es correcto y funcional es determinar y comprobar que el valor de este coeficiente lambda sea cercano a uno en cualquier régimen de funcionamiento del motor, tal como se puede observar en la Fig. 8.

La variación de la potencia efectiva del motor *Ne,* para diferentes posiciones de la válvula de mariposa, se muestra en la Fig. 9.

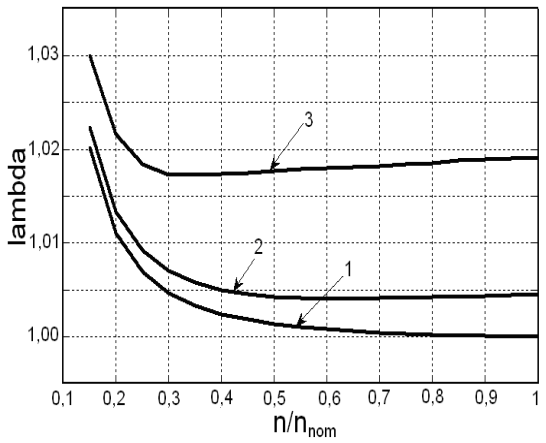


Fig. 8. *Variación de λ en función de la velocidad de rotación (n/n_{nom}) para diferentes aperturas de la mariposa:1-100%; 2-10% y 3-5%.*

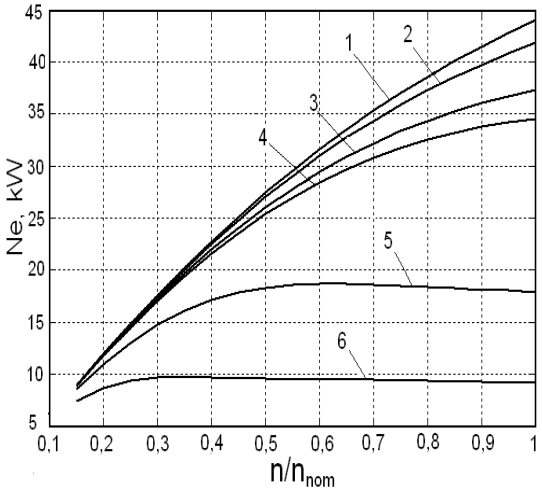


Fig. 9. *Variación de la potencia efectiva del motor Ne en función de la velocidad de rotación (n/n_{nom}) para diferentes aperturas de la mariposa:1-100%; 2-50%; 3-30%; 4-25%; 5-10% y 6-5%.*

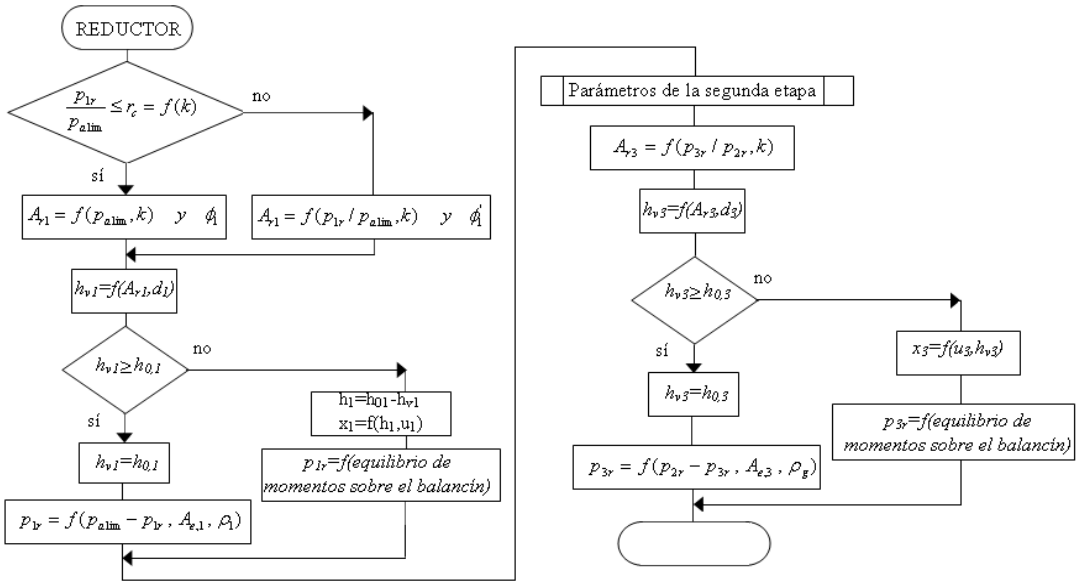


Fig. 10. *Diagrama de flujo del cálculo del reductor.*

Conclusiones

1. El modelo matemático desarrollado ha demostrado ser una herramienta relativamente sencilla y adecuada para el estudio de los fenómenos hidrodinámicos que se producen en los diferentes componentes del sistema de alimentación a GNV y para la siguiente etapa de diseño y construcción de todos los componentes del sistema de alimentación de combustible.
2. El diseño y construcción de un mezclador de un motor determinado se debe realizar conjuntamente con los parámetros del reductor empleado y el motor.
3. La modelación de las etapas de alta presión de un reductor considerando que los regímenes de flujo son crítico y supercrítico permiten simular con mayor propiedad y precisión a los procesos que en ellas transcurren y, por ende, a un diseño más preciso de los componentes del sistema.
4. La función principal de las primeras etapas de un reductor es reducir la presión, mientras que la función de la última es dosificar adecuadamente en correspondencia con el régimen de trabajo del motor.
5. La dosificación del combustible y el coeficiente lambda y, por tanto, la potencia y las emisiones tóxicas del motor, son mucho más sensibles a la variación de los parámetros de la etapa de baja presión que a las de alta.

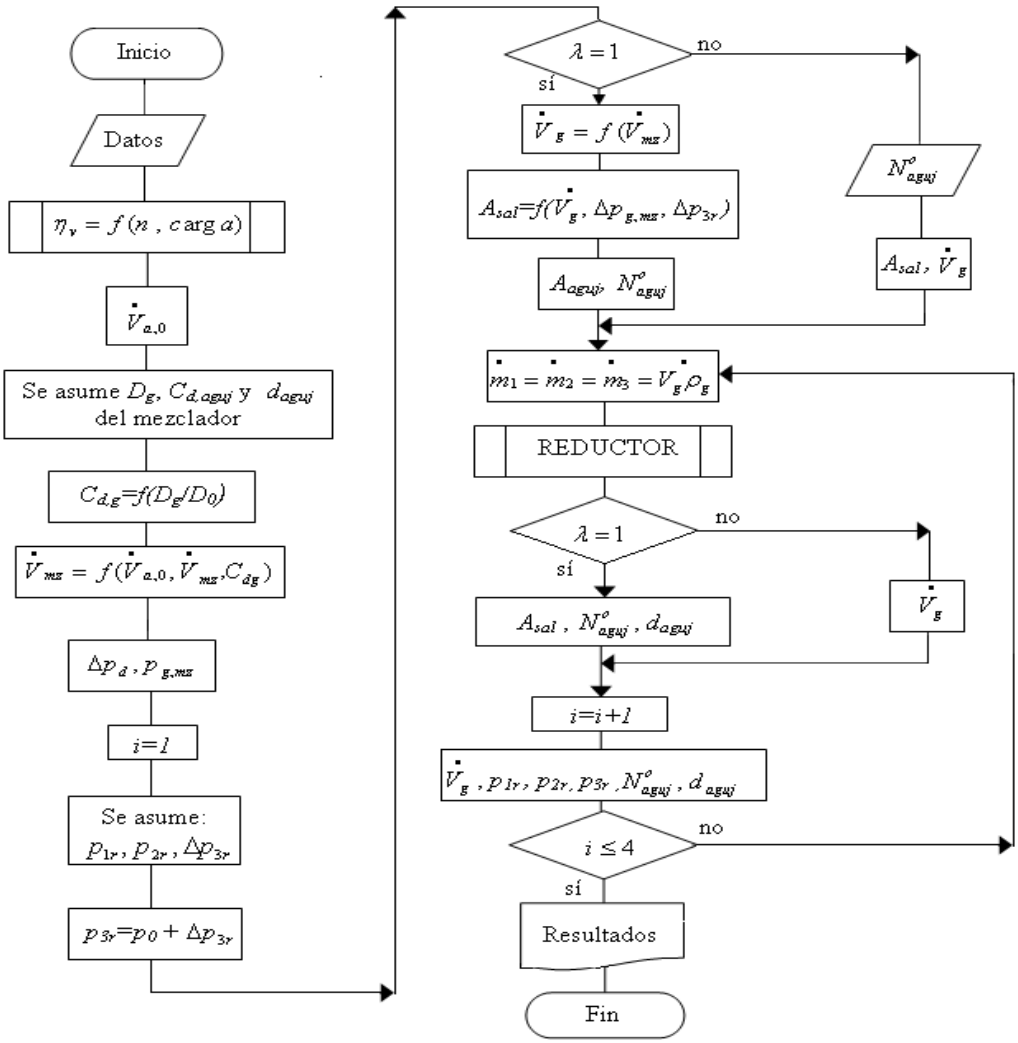


Fig.11. *Diagrama de flujo del sistema de alimentación a GNV*

Referencias

1. Bosch, R., "Manual de la Técnica del Automóvil", Editorial Reverté, S.A., Barcelona, 1992.
2. Grigoriev, B.G., "Gasoballonnie Avtomobili", Editorial Mashinostroienie, Moscú, 1989 (en ruso).
3. Heywood, J.B., "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw Hill Inc, USA, 1988.
4. Lira Cacho, J.G., Condori Antezana, J.C., "Un Sistema de Alimentación dual GLP/gasolina de bajo costo para Motores Automotrices de pequeña cilindrada", Revista TECNIA, Vol.15, N°2, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, diciembre, 2005.
5. Lira Cacho, J.G., Oliveros Donohue, A., Barrera, J., "Sistema de Alimentación de Biogás para un motor de Combustión Interna", Revista TECNIA, Vol.13, Nº1, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2003.
6. Palacios Bereche, R., "Análisis de los procesos gasodinámicos en un sistema de alimentación de GNC de un motor automotriz E.CH. con carburador", Tesis de Competencia Profesional, UNI, Lima, 2004.
7. http://www.cpgnv.org.pe/estadistic_nac01.htm
8. http://www.bedinigas.com/products.htm
9. http://www.chemicalogic.com/mollier/A1-size-methane.pdf

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 110. Volumen 4(2), 9 páginas

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO DE RESISTENCIA METÁLICA HASTA 700ºC

Adrián Cruz Alavés[1], Carlos Alberto Rivera Salamanca[2], Isaías Hernández Pérez[3], Homero Jiménez Rabiela[4]

Resumen

En este artículo se presenta el diseño y construcción de un horno eléctrico de resistencia metálica para realizar reacciones químicas en las cuales se requieren temperaturas hasta 700 ºC en el área de Química Aplicada del Departamento de Ciencias Básicas de CBI de la UAM Unidad Azcapotzalco, se solicito apoyo al área Eléctrica y al grupo de Investigación de Mecánica del Departamento de Energía de la misma División y Unidad. El área Eléctrica hizo el diseño construcción y las pruebas eléctricas; el grupo de Investigación de Mecánica contribuyó en el maquinado de las tapas de aluminio. La motivación principal es el alto costo al solicitarse a empresas nacionales la construcción y considerando que nuestra misma Universidad tienen la capacidad en cuanto a personal, tecnología e infraestructura; se tomó la decisión de fabricarlo a un costo considerablemente menor.

Palabras clave: ladrillo refractario, resistencia eléctrica, termopar

Summary

In this paper we show the design and construction of electrical resistance furnace to make chemical reactions that require temperatures until 700ºC for the area of Applied Chemistry, this area belong to the Basic Sciences Department (CBI) of UAM Azcapotzalco, the area Chemistry requested support to Electrical area and to Mechanical research group of the Energy Department by the same University and Campus. The Electrical area made the design, the mechanical research group build aluminum covers. We made this because the University request cost of elaboration to national enterprises and this cost were high, considering that University have the technology, personal and subtructure we decided elaborate the furnace in the University with lower cost.

Keywords: firebrick, electrical resistance, thermocouple

Introducción

El objetivo principal del diseño y construcción del horno es alojar un reactor tubular en donde pasa una mezcla de gases que reaccionan a altas temperaturas. Un horno es un equipo o dispositivo utilizado en la industria en el que se calientan las piezas o elementos colocados en su interior por encima de la temperatura ambiente, consta de una caja refractaria aislada en la que se produce calor, ya sea quemando algún combustible o por medio de elementos eléctricos; La clasificación del horno eléctrico atiende a diferentes aspectos que son: forma de funcionamiento, disposición de las resistencias (según dónde se ubique las resistencias, los hornos pueden ser de calefacción por la parte inferior, superior, lateral o por un extremo), tipo de recinto y tipo de efecto en el producto. El calentamiento de las piezas por resistencias eléctricas puede ser directo, cuando la corriente eléctrica pasa por las piezas, o indirecto, cuando las piezas se calientan por radiación, convección o una combinación de ambas. El calentamiento directo es adecuado para piezas metálicas de gran longitud y sección pequeña y uniforme, tales como barras, palanquillas, varillas, alambres y pletinas [1,2].

[1] UAM-A, Av. San Pablo 180, Azcapotzalco, 02200, México, D.F. adriancito_50382@hotmail.com
[2] UAM-A, Av. San Pablo 180, Azcapotzalco, 02200, México, D.F. tel. 53 18 90 49, rsca@correo.azc.uam.mx
[3] UAM-A, Av. San Pablo 180, Azcapotzalco, 02200, México, D.F. tel. 53 18 95 71, ihp@correo.azc.uam.mx
[4] UAM-A, Av. San Pablo 180, Azcapotzalco, 02200, México, D.F. tel. 53 18 90 69 hjr@correo.azc.uam.mx

Las resistencias se comportan como una carga eléctrica lineal y se calientan por efecto joule debido al paso de la corriente por el alambre o cinta de aleación en espiral (helicoidal) o zig-zag a fin de puedan desarrollar la máxima longitud en un mínimo espacio y ceden calor a la carga por las diversas formas de transmisión de calor; las relaciones entre la tensión, la intensidad, la potencia, y la resistencia eléctrica a temperatura ambiente se deducen de la ley de ohm. Los materiales para las resistencias tiene características como: elevada resistividad eléctrica, alta temperatura de fusión, y resistencia a la oxidación en caliente y a la corrosión en el ambiente gaseoso producto de las reacciones químicas en juego. Los materiales empleados para la fabricación de resistencias metálicas en hornos industriales se pueden clasificar en tres grandes grupos: las aleaciones austeníticas de Ni-Cr-Fe para temperaturas de hasta 850ºC, ferríticas de Fe-Cr-Al para temperaturas de 1100 a 1300ºC y otros materiales empleados como Molibdeno-Tántalo y Tungsteno. De todas estas la más utilizada es la de 80 Ni-20 Cr. [1,3].

Cálculo de parámetros de diseño del horno eléctrico de resistencias

La energía eléctrica se transforma en energía térmica de acuerdo a la ley de Joule que señala que el calor generado en un circuito eléctrico es igual al cuadrado de la intensidad de corriente por la resistencia ohmica por el tiempo en segundos, durante los cuales fluye la corriente, por 0.00024, que es la cantidad de calor en calorías desarrollada por un amperio que pasa por un conductor de resistencia de 1Ω durante un segundo.[3,4] Es decir:

$$Q = 0.00024 I^2 RtK \tag{1}$$

donde: Q – calor (cal.)
I – corriente (A)
R – resistencia del horno (Ω).
t – tiempo (s)
K – 0.864

Cálculo de la Potencia

La potencia del horno eléctrico a resistencia se determina teniendo en cuenta la masa del material a calentar, el calor específico del material, la temperatura media del horno y la temperatura exterior[5]:

$$P = \frac{MC_e(T_H - T_E)}{860} \tag{2}$$

donde: P – potencia real (kw)
M – masa del material a calentar
C_e – calor específico del material
T_H – temperatura media del horno (ºC)
T_E – temperatura exterior (ºC)

Los parámetros conocidos son: la temperatura media del horno 700ºC, la temperatura exterior que es la del ambiente 20ºC, el factor MC_e = 0.728 kw/ºC; se toma del rango del producto de las masas y los calores específicos de los materiales a utilizar. Si reemplazamos en (2) se obtiene que P = 0.576 kw. El voltaje de alimentación es V = 120 v ya que es monofásico. El horno consta de: 1. Resistencias Eléctricas, 2. Núcleo Refractario, 3. Terminales y Conexiones, 4. Carcasa y 5. Sistema de Control.

1. Resistencias Eléctricas

Estas se escogen de acuerdo a las dimensiones y a la temperatura deseada en el interior de la cámara, las características que se deben considerar son: Temperatura de fusión, resistencia eléctrica por unidad de longitud como la función de la temperatura, resistencia a la oxidación, resistencia mecánica a alta temperatura, coeficiente de dilatación y diámetro del alambre. La resistencia es del tipo kanthal A1 diseñada para temperaturas mayores a 800 ºC, con un punto de fusión de 1350ºC [5].

1.1. Cálculo de la Resistencia

Aplicando la ley de ohm para la resistencia en función de la potencia, se tiene:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{V^2}{P} \tag{3}$$

Despejando la corriente de (3) y reemplazando valores se obtiene el valor I = 4.93 A. Reemplazando en (3) los factores de diseño se obtiene que R = 25 Ω. La resistencia R debe corregirse a la temperatura a la temperatura ambiente en (4); cuya medición se hizó a 20 ºC. Para el alambre tipo Kanthal A1 para una temperatura de 800ºC C_t= 1.028 (de la Tabla 3 [5]).

$$R_{20^oC} = \frac{R}{C_t} \tag{4}$$

donde: C_t– constante del alambre.

Reemplazando en (4) los valores respectivos se obtiene R_{20^oC} = 24.31 Ω.

1.2. Determinación del Calibre

De la tabla 4[5] para una potencia de 0.576 kw y un voltaje de 120 v corresponde un calibre 20 (0.81 mm)

1.3. Cálculo de la Longitud del Alambre

Para calcular la longitud del alambre utilizado en la resistencia se tiene:

$$L = \frac{R_{20^oC}}{\rho} \tag{5}$$

donde: L – longitud total del alambre (m)
ρ – resistividad por unidad de longitud del alambre (Ω/m)

De la Tabla 5 [5] para este alambre corresponde una resistividad ρ =1.8460 Ω/m. Sustituyendo valores en (5) se tiene que L= 13.17 m

1.4. Determinación del Diámetro Exterior de la Espira

Para reducir el tamaño del alambre se hacen espiras, se recomienda que el diámetro de la espira sea 5 ó 6 veces el diámetro del alambre.

$$D = 6d \tag{6}$$

donde: D – diámetro de la espira (mm)
d – diámetro del alambre (mm)

Sustituyendo valores en (6) se tiene que D = 4.86mm

1.5. Cálculo del Factor de Potencia de Disipación del Alambre

El factor de potencia de disipación del alambre se calcula de acuerdo a (7) [5].

$$P_A = \frac{P}{A_R} \tag{7}$$

donde: Π_A – factor de potencia de disipación del alambre (w/cm^2)
A_R– área del alambre (cm^2)

Tomando en cuenta que el alambre es un cilindro; entonces A_R es igual a 335.11 cm^2. Sustituyendo valores en (7) se tiene que Π_A = 2.25 w/cm^2 el cual es un valor permitido, asegurando larga vida a la resistencia.

1.6. Cálculo de la Longitud Total de la Resistencia

Para calcular la longitud total de la resistencia para el horno, primero encontramos el número de espiras [5].

$$N_{esp} = \frac{L}{\pi D} \tag{8}$$

donde: N_{esp}– número de espiras

Sustituyendo valores en (8) se tiene que N_{esp} = 862 espiras. Luego encontramos la longitud total del tramo a través de (9).[5]

$$L_D = N_{esp} d \tag{9}$$

donde: L_D– longitud mínima del tramo (cm).

Entonces, L_D = 862 espiras *0.81mm =698 mm = 69.8 cm; tomamos una longitud del tramo de 73 cm; como el horno consta de 2 tramos de resistencia, cada uno debe tener canales con una longitud de 36.5 cm.

Diseño y manufactura del horno eléctrico de resistencias

2. Núcleo Refractario

Es la pared del horno en la cual se encuentra alojada la resistencia eléctrica. El material debe cumplir con las siguientes propiedades: resistencia alta al choque térmico, alta conductividad térmica, alta temperatura de fusión, bajo coeficiente de expansión térmica y baja conductividad eléctrica. Los materiales refractarios se utilizan para construir las paredes, soleras y bóvedas de los hornos, dependiendo del tipo de horno e incluso de la zona del mismo. Los refractarios se clasifican en: a) Ácidos (SiO_2); resistentes a altas temperaturas, reacciona con otros elementos (refractarios, cenizas, escorias, fundentes). b) Básicos (CaO o MgO). Resistente a altas temperaturas, reaccionan con elementos ácidos. c) Neutros (alúminas; Al_2O_3; $Al_2O_3.SiO_2$) Resistente a altas temperaturas y no reaccionan [4].

2.1. Cálculo y Diseño de los Ladrillos Refractarios

El área interior del núcleo refractario (A_1) para colocar cada tramo de resistencia de 36.5 cm es igual a 5 cm*6.5 cm = 32.5 cm^2; en la cual se hacen 6 canales verticales unidos consecutivamente, como se muestra en las Figs. 1 y 2. Para que realmente se obtenga el valor adecuado de resistencia es necesario que cada espira este separada, esto se logra estirando los tramos de resistencia. El área exterior (A_2) se obtiene de la relación (10) [3,4]. Se utilizó un **ladrillo refractario de alto contenido de alúmina**; tienen un coeficiente de dilatación térmica muy bajo por lo cual están preparados para soportar altas temperaturas y luego se enfrían sin llegara presentar dilataciones o deformaciones significativas que lo afecten tienen una conductividad termica con un rango de: 0,47- 1,05 (W·m -1 .K- 1).

$$A_2 \leq 2A_1 \tag{10}$$

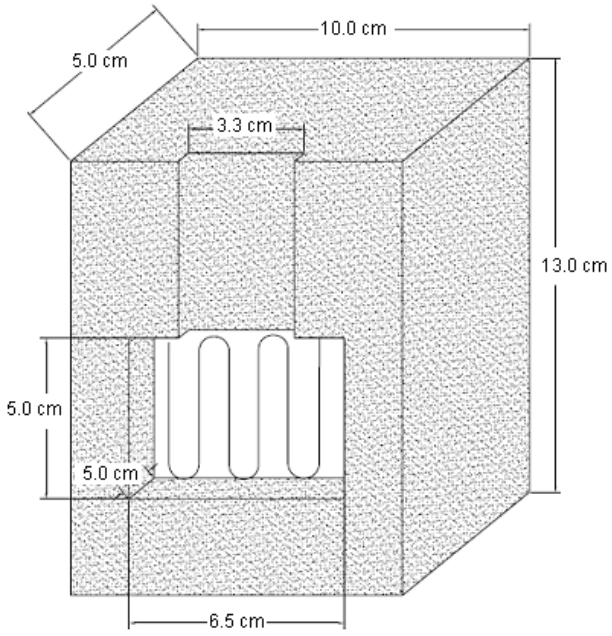


Fig. 1. Diseño de la pared interna del ladrillo refractario

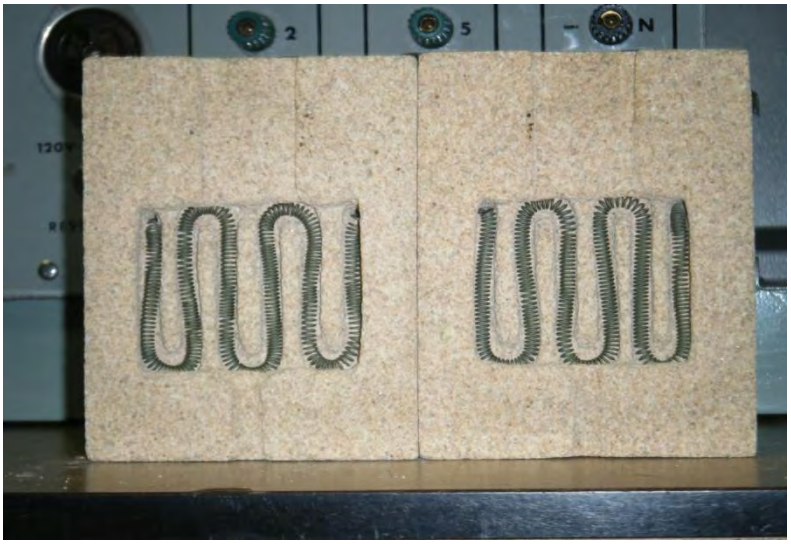


Fig. 2. Ensamble de las resistencias en las paredes internas de los ladrillos refractarios

Reemplazando en (10) $A_2 \leq 2*32.5\ cm^2 \leq 65\ cm^2 = 13\ cm*5\ cm$ y $A_2 \leq 2*5\ cm*5\ cm \leq 50\ cm^2 = 10\ cm*5\ cm$, obteniendo las dimensiones de cada ladrillo que se muestran en la Fig. 1.

3. Terminales y Conexiones

Tienen por objeto realizar la unión eléctrica y/o mecánica entre el interior y el exterior del horno, dicha unión resistencias, los cables o barras de alimentación; su función principal es el paso de la corriente eléctrica a través del aislamiento térmico del horno que debe contemplar la temperatura de las resistencias.

La sección transversal de las terminales para las resistencias de alambre es redonda, aunque para resistencias de pletina puede ser rectangular, sobre todo en los hornos de atmósfera controlada para conseguir una buena estanqueidad. Esta sección debe ser grande para reducir las pérdidas por efecto Joule, con las consiguientes caídas de tensión y calentamiento que producen pérdidas de calor por efecto de puente térmico, dando lugar a una mayor temperatura del extremo exterior de la terminal y de las conexiones. Las terminales de las resistencias se conectarán con los cables de corriente eléctrica, los cuales deben de estar aislados con materiales que soporten altas temperaturas, ya que están en contacto con los ladrillos refractarios.

Para evitar la exposición de las resistencias y el contacto directo con el dispositivo a calentar, se aplica una capa de cemento refractario, se aseguran las puntas de cada lado de la resistencia para su posterior conexión en el circuito eléctrico, las conexiones deben ser de alambre recubierto con una capa de asbesto como aislante para soportar las altas temperaturas que se manejan en la evaluación de su funcionamiento como se muestra en la Fig. 3.

Fig. 3. Ladrillos con capa de cemento refractario

4. Carcasa

Está constituida por lámina perforada para permitir el paso de aire y evitar que se caliente, de lo contrario seria difícil la manipulación del horno; además de cumplir con la función de protección, para el cuidado de sus componentes. Para darle una forma cilíndrica determinada es necesario el maquinado de tapas semicirculares, tanto superiores como inferiores de aluminio, con un espesor de 6 mm, como se muestra en la Fig. 4.

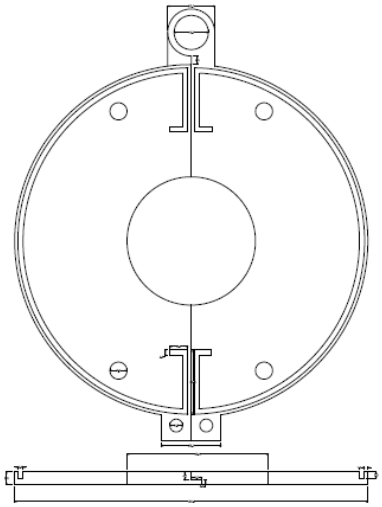


Fig. 4. Diseño de las tapas exteriores del horno

El horno tiene como carcasa lámina perforada, que será insertada en las ranuras de las tapas superior e inferior; quedando los ladrillos al centro, como se muestra en la Fig. 5. Para sujetar los ladrillos se le acondicionan dos flejes de hierro con dos pestañas que se sujetan a las tapas de aluminio.

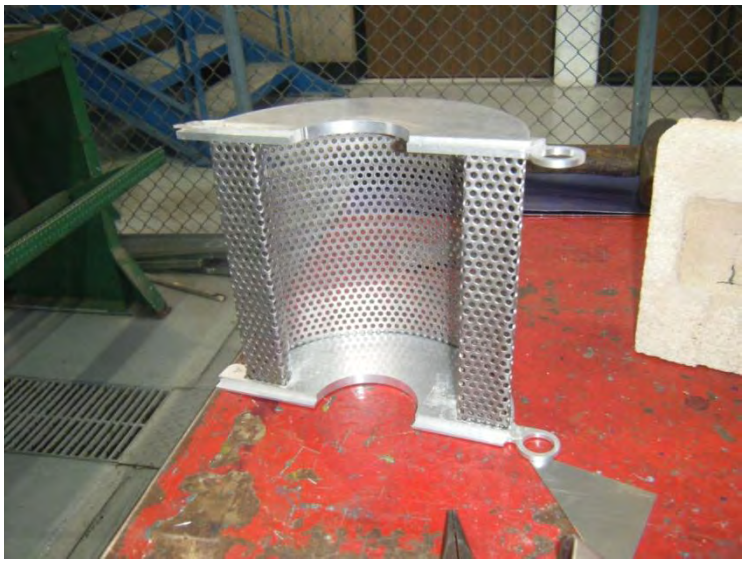


Fig. 5. Ensamble de la carcasa y las tapas

5. Dispositivo o Sistema de Control

Son dispositivos que permiten prender y apagar el horno, controlar la temperatura, programar la velocidad de calentamiento con la ayuda de termopares para monitorear su temperatura. Los termopares se utilizan para la detección de temperaturas comprendidas entre 200 y 1400 °C, aunque en ocasiones se emplean para temperaturas bajas (hasta 200 °C) y altas (hasta 1700 °C). Están basados en la fuerza electromotriz que se produce al calentar un extremo soldado de un par de hilos o alambres de diferente composición, entre el

extremo caliente y el extremo frío de dichos hilos. La fuerza electromotriz es proporcional a la diferencia de temperatura entre la soldadura caliente y la soldadura fría de los alambres (efecto Seebeck, efecto Peltier y efecto Thomson). Los termopares más utilizados son: cobre-constantan, hierro-constantan, cromo-aluminio o níquel/cromo-níquel y platino-platino/rodio. El constantan es una aleación de 56 % Cu, 44 % Ni; el cromo 90 % Ni, 10 % Cr; y el alumnio 94 % Ni, 2 % Al, 3 % Mn y 1% Si.[1]

Una vez ensamblados todas las componentes del horno se prosigue a las conexiones del circuito eléctrico. Considerando las temperaturas que se alcanzaran en las evaluaciones catalíticas se instala un termopar de tipo K el cual soporta y registra temperaturas mayores a 1000°C.

Pruebas térmicas al horno eléctrico de resistencias

El Horno se somete a diferentes pruebas térmicas para verificar su funcionamiento iniciando a 25°C incrementando la temperatura de 50°C una vez estabilizada cada temperatura. La evaluación del funcionamiento del horno eléctrico se llevó a cabo en el laboratorio de Catálisis en el edificio O, con una rampa de temperatura de 25°C por minuto, iniciando a temperatura ambiente hasta 800°C. se usa un relevador eléctrico y un controlador de temperatura como se muestra en la Fig. 8. Las resistencias se calentaron cambiando de color obscuro a rojo.

En la Fig. 9 se puede observar la evaluación del horno con los dispositivos ya conectados y funcionando.

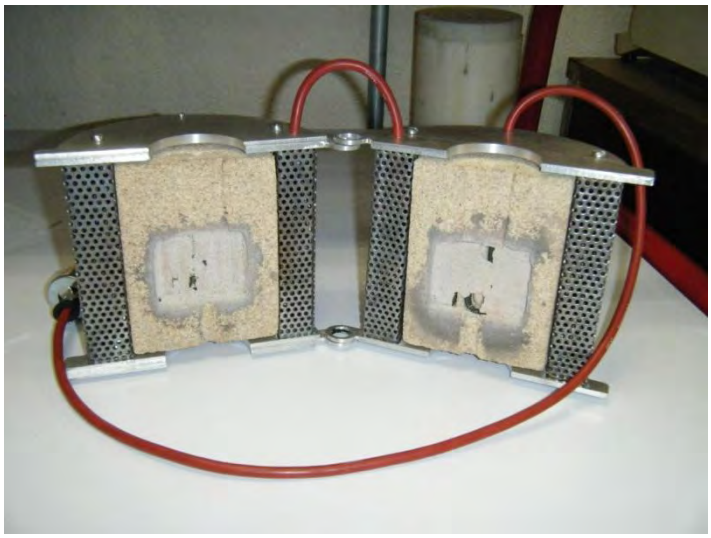


Fig. 6. Parte interna del horno con todos sus componentes

Fig. 7. Apariencia externa final del horno de resistencia metálica

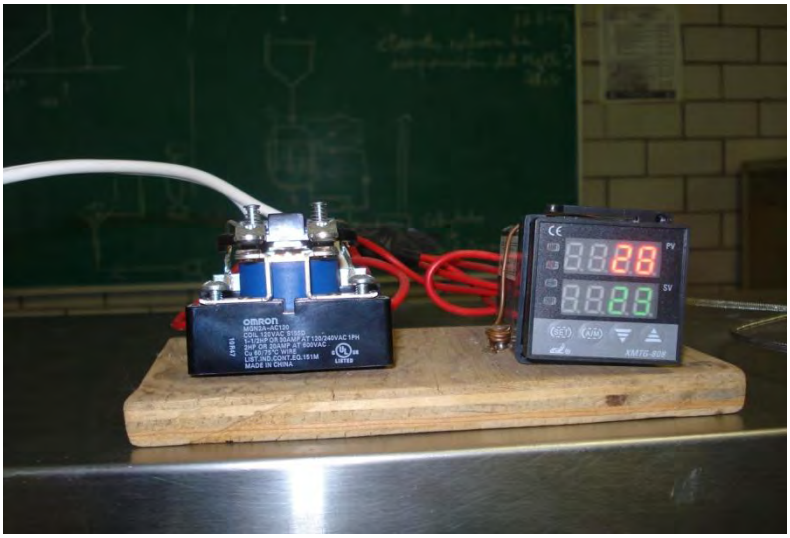


Fig. 8. Dispositivos, relevador eléctrico y control de temperatura

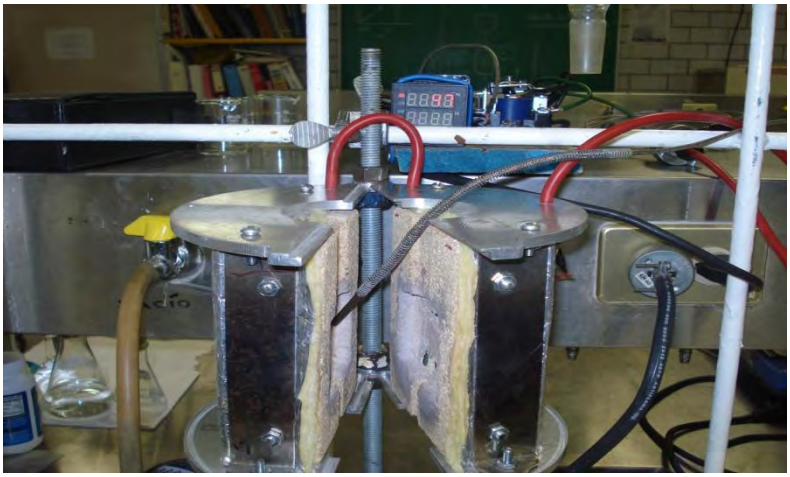


Fig. 9. Horno conectado a los dispositivos

Conclusión o discusión

El horno de resistencia aprovecha al máximo la capacidad de fusión de metales y aleaciones en condiciones más rigurosas, en atmósferas especiales o al vacío, ya que pueden trabajar herméticamente cerrados, su temperatura se puede regular con gran precisión.

Entre las aplicaciones metalúrgicas de este tipo de horno se encuentran la fusión y mantenimiento de metales, generalmente de bajo punto de fusión (Al, Pb, Zn, Sn, Cu, etc.) y el tratamiento térmico de metales. Y como en este caso alojar un reactor tubular en donde pasa una mezcla de gases que reaccionan a altas temperaturas.

La fusión de los metales y aleaciones tiene lugar en hornos específicos para cada clase de metal y aleación al tamaño o cantidad de piezas a moldear y también al tipo de taller de fundición. Estos hornos sirven para la realización correcta de la fusión de los metales; es necesario que el fundidor que dirige la operación un profundo conocimiento de los factores y elementos que intervienen en la fusión, debiendo estar, apoyado en lo posible por un laboratorio para ensayos rápidos que permitan corregir la marcha de la fusión y sobre todo la composición del material para que se ajuste a las características deseadas.

Al final de la evaluación del funcionamiento del horno se detecto que las tapas de aluminio se calentaban demasiado dañando un componente de plástico que tiene una de las tapas, para solucionar este problema en las caras exteriores de los ladrillos refractarios, se cubrieron con una cubierta de fibra de vidrio con un calor especifico de 0.19 Kcal/Kg °C y una capacidad calorífica de 2.8kcal/m^3 °C.

Reconocimientos

Los autores agradecen al Técnico Académico del Taller de Cerámica de la División CyAD UAM-A, Enrique Gómez Gómez; a los técnicos Jesús Barrera, Antonio, Díaz, Jaime Magos y Cesar Méndez del Taller de Procesos de Manufactura, a Marcos Pinto Mota por el valioso apoyo brindado en la construcción y realización de pruebas del Horno.

Referencias

[1] Ordoñez S. "Técnicas Experimentales en Metalurgia". Depto. de Ingeniería Metalúrgica - Universidad de Santiago de Chile. http://www.metalurgiausach.cl/TECNICAS%20EXPERIMENTALES/UNID8.pdf
[2] Universidad de Buenos Aires. "Hornos Industriales". http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/15_Apunte%20HornosIndustriales.pdf
[3] Salas Calderón P., Dill´Erva Hernández F., Romero Conde R., Rivera Bustamante G., "Hornos Eléctricos". http://www.slideshare.net/paulsalascalderon18/horno-elctricos-fame
[4] Oviedo F. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2006, http://www.slideshare.net/filostrato/capitulo-vii-hornos
[5] De Ita de la Torre A., Vázquez Briseño L. "Cálculo, diseño y construcción de un horno eléctrico de resistencia" Universidad Autónoma Metropolitana, México. 2004
[6] Astigarraga Urquiza J., "Hornos industriales de resistencias". Mc Graw-Hill Interamericana, S.A. 1999 pp. 1-15, 31,152, 198,199
[7] W. Trinks, M. H. Mawhinney, " Hornos industriales " Volumen 1, URMO, S. A. DE EDICIONES, 1975 pp. 27-29, 437 y 435.
[8] Mantell C. L. "Ingeniería Electroquímica- Capitulo 17: Hornos eléctricos", Reverté S. A., España, 2003. pp. 666.
[9] Lobato Flores A., Landauro A. "Hornos Metalúrgicos Industriales". Comercial. Lima, Perú. 1987. pp. 346
[10] Ramírez Vázquez A., Correa Becerra A. "Cálculo y construcción de un horno eléctrico a base de resistencias con un sistema de control" Proyecto Terminal, Área Eléctrica, Universidad Autónoma Metropolitana, México junio 1988.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 111. Volumen 4(1), 10 páginas

SIMULACIÓN DE GRANDES REMOLINOS DEL FLUJO EXTERNO SOBRE UN CILINDRO A UN ALTO NÚMERO DE REYNOLDS

Alejandro Alonzo García[1], Claudia del Carmen Gutiérrez Torres[2], José A. Jiménez Bernal[3], José Luis López Aguado Montes[4].

Resumen

En este trabajo se presenta un estudio numérico del flujo turbulento externo sobre un cilindro para un Re=140,000. La técnica numérica utilizada es la Simulación de Grandes Remolinos. El funcionamiento de esta técnica se basa en la resolución de las ecuaciones filtradas de Navier Stokes, siendo que la parte no filtrada es modelada mediante un modelo a escala de submalla. La malla utilizada fue construida con 869000 elementos pentaédricos y fue refinada en la vecindad del cilindro mediante dos métodos. Los resultados en general fueron aceptables en lo que se refiere a las distribuciones de presiones a lo largo del cilindro, las características reproducidas del flujo y las zonas de separación. Sin embargo, algunos otros parámetros de flujo como el coeficiente de arrastre no pudieron ser aproximados de manera adecuada.

Palabras clave: Cilindro circular, estudio numérico, flujo turbulento, número de Reynolds, simulación de grandes remolinos.

Abstract

This paper presents a numerical study of turbulent flow over a circular cylinder under high Reynolds number conditions (Re = 1.4E+5). Due to the complexity of this kind of oscillating turbulent flows, we chose to address the problem under the large eddy simulation technique, which solves the largest eddies of flow depending on the size of a spatial-temporal filter. The mesh used was built with 869000 pentahedron elements and was refined in the vicinity of the cylinder by two methods. The results were generally acceptable in regard to distributions of pressure along the cylinder, the intrinsic flow characteristics and separation regions. However, some other parameters of flow as the drag coefficient were subpredicted.

Keywords: Circular cylinder, large eddy simulation, numerical study, Reynolds number, turbulent flow.

Introducción

En el área de la mecánica de fluidos, el estudio del flujo externo sobre un cilindro es un tema clásico de investigación, debido a que en éste, se manifiestan complejas características para medir y analizar tales como: La formación de una capa límite, la separación de flujo ocasionada por la aparición de un gradiente de presión adverso y la formación de una estela de baja presión entre otras.

Parte de la complejidad del estudio del flujo sobre un cilindro radica en el hecho de que los patrones pueden ser diferentes según ligeras variaciones del número de Reynolds y otros factores tales como la rugosidad superficial, la relación de aspecto L/D, la relación de bloqueo distancia del cilindro, la nivelación y distancia del cilindro con respecto a las paredes de las zonas de pruebas etcétera.

Debido en general a que los cilindros son geometrías que encontramos en distintos dispositivos mecánicos tales como intercambiadores de calor, soportes de plataformas acuáticas y terrestres, edificios, aeronaves, tuberías de transporte entre otras, los diseñadores buscan una mejor comprensión del fenómeno para poder optimizar los distintos dispositivos ingenieriles mediante una mejora en las curvas de diseño aplicadas en la construcción de los equipos.

[1-4] Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada (LABINTHAP) – SEPI – ESIME – IPN. Av. Instituto Politécnico Nacional S/N, Edif. 5, 3er Piso, Col. Lindavista, C.P. 07738, D. F. México. E-mails: [1] alejandro_1980@hotmail.com, [2] cgutierrezt@ipn.mx, [3] jjimenezb@ipn.mx, [4] pepe07245@hotmail.com

Con respecto a la aparición de las fuerzas fluctuantes destructivas que aparecen en el flujo sobre un cilindro, éstas se han estudiado en la teoría de las vibraciones inducidas por vórtices (vortex induced vibrations). Weaver en 1985 [1] presentó una revisión del fenómeno relacionado a fallas por fatiga y otras causas en los intercambiadores de calor, debido a la acción permanente de fuerzas oscilantes periódicas.

A su vez, Zradkovich [2] presenta una serie de resultados experimentales obtenidos de experimentos bien controlados del flujo sobre uno o varios cilindros con sección transversal circular sometidos a variaciones en los parámetros anteriormente señalados. En muchos de esos experimentos, las variables de flujo estudiadas no presentan información del campo de flujo. Es entonces donde la simulación numérica del resulta ser útil para obtener información detallada, y mejorar los aspectos ingenieriles involucrados.

Entre los trabajos numéricos más importantes acerca del flujo sobre un cilindro, se puede mencionar a Mittal [3] quien en 1995 realizó una simulación de grandes remolinos (LES por sus siglas en inglés) del flujo sobre un cilindro para un número de Reynolds de 3900, basado en el diámetro del cilindro como longitud característica. Mittal realizó un estudio comparativo del flujo obteniendo las cantidades turbulentas primero para el caso bidimensional, y las comparó con un mallado fino de aproximadamente 1.5 millones de celdas y otro aún más fino de 1.9 millones de celdas. Mittal señaló la importancia del refinado de las celdas en las zonas aledañas a la pared (siendo que un dominio con el doble del número de celdas sin el refinado adecuado quizás no entregue buenos resultados), y la necesidad de esquemas centrales de segundo orden para poder reducir el problema de la disipación numérica que afecta a los modelos a escala de submalla. A su vez, mencionó que se deben de considerar al menos 6 ciclos de formación de vórtices para poder determinar de manera estadística que una solución es lo suficientemente robusta estadísticamente hablando.

Más adelante Breuer [4] en el 2000, estudió la influencia del tamaño de la malla y del modelo a escala de submalla del flujo turbulento sobre un cilindro para un número de Re=1.4E+5. Breuer señaló que no siempre es posible realizar un estudio de independencia de malla en los modelos LES, debido a la gran cantidad de recursos requeridos (mallas de millones de elementos), siendo que para esta técnica, este tipo de estudios resulta deseable o bien puede realizarse pero basándose en un modelo RANS. Breuer señaló a su vez que tanto el modelo dinámico de Smagorinsky, como el modelo de Lilly-Smagorinsky arrojaron buenos resultados con respecto a los experimentos.

En el 2001, Meng et al, [5] implementaron un esquema híbrido LES con modelado de la pared en el análisis numérico realizado del flujo sobre un cilindro para distintos números de Reynolds. Ellos lograron optimizar los tiempos y requerimientos computacionales. En general, los autores concluyeron que la complejidad de un análisis numérico del flujo turbulento a altos números de Reynolds, conlleva al problema de la resolución de escalas muy finas de flujo, lo que aumenta los requerimientos de malla en ciertas zonas, y por ende, los costos computacionales.

En el mismo año (2001), Dietz et al [6] estudiaron el flujo sobre un cilindro de manera numérica, y presentaron una nueva rutina computacional la cual lidiaba con el problema de la predicción de la separación de flujo y de los efectos de vórtices tridimensionales y sus altos requerimientos de mallado. Ellos reportaron que con esa nueva rutina (HELIX), se podrían reproducir comportamientos altamente vorticosos (rotores de helicópteros, veletas etc.) en mallas burdas y reducir los tiempos computacionales de manera significativa. Sin embargo, al parecer tal implementación no ha sido incluida aún en los paquetes DFC más comunes (FLUENT, NUMECA, etcétera).

Catalano et al en el 2002, realizaron un estudio numérico del flujo sobre un cilindro a dos números de Reynolds (Re=5E+5 y Re=1.0E+6) mediante los modelos LES y URANS (ecuaciones de Navier Stokes con los esfuerzos de Reynolds promedio con el termino temporal activo) [7]. Ellos concluyeron en general que la técnica LES predice un intervalo amplio de escalas de flujo y por lo tanto más mezclado con respecto a las soluciones encontradas en el URANS. A su vez, observaron que los coeficientes de arrastre, números de Strouhal y longitudes de recirculación medios del flujo muestran que los valores predichos por ambos métodos presentaron concordancia con los datos experimentales existentes, sin embargo, estos datos experimentales presentan vacíos, lo que dificulta la validación de las rutinas numéricas.

Como podemos apreciar, el tema del estudio numérico del flujo turbulento sobre un cilindro ha sido estudiado para distintos números de Reynolds a lo largo de casi 20 años. Durante esas dos décadas, se han obtenido éxitos como también fracasos en los modelados numéricos. En este trabajo se plantea la implementación del método de la simulación de grandes remolinos para la resolución del problema del flujo externo sobre un cilindro bajo un número de Reynolds subcrítico (Re=1.4E+5) con la finalidad de evaluar el desempeño de un método computacional y de complementar los datos experimentales y numéricos presentados en la literatura como parte de un trabajo de investigación en el cual se intentará explicar un método de la reducción del arrastre pasivo.

Metodología

La simulación de grandes remolinos

La simulación de grandes remolinos está basada en la teoría de la cascada de energía de Kolmogorov. La teoría se fundamenta en la consideración de que los remolinos más grandes en el flujo dependen de la geometría del mismo, mientras que los remolinos más pequeños son similares entre ellos y tienen un comportamiento más universal. Bajo esta consideración, la técnica LES resuelve los remolinos más grandes de manera explícita, y modela los efectos de los remolinos más pequeños sobre los remolinos más grandes. En el modelado LES, los movimientos a gran escala del flujo son calculados de manera parecida al DNS, mientras que los efectos de las escalas universales más pequeñas son modeladas usando los llamados modelos a escala de submalla (SGS subgrid scale por sus siglas en inglés). Uno puede idealizar el funcionamiento del modelo como la aplicación del DNS en las escalas más grandes, y el modelado de las escalas más pequeñas mediante el enfoque RANS. Sin embargo, existen diferencias en el funcionamiento de las técnicas LES y RANS.

En el RANS, los modelos están basados en unas ecuaciones rectoras promediadas temporalmente, por lo tanto, el esquema no es capaz de captar el comportamiento no estacionario y las dinámicas de las escalas pequeñas con exactitud, debido a que el promedio de una cantidad que fluctúa es tomada a cero $\overline{u'} = 0$. Mientras que en la técnica LES, las estructuras de flujo que son más grandes que un tamaño de filtro determinado son consideradas de manera explícita, mientras que la influencia de las escalas no resueltas es modelada usando un modelo SGS.

La justificación de las consideraciones anteriores es que los remolinos más grandes contienen la mayoría de la energía, realizan la mayor cantidad de transporte de propiedades conservativas, y varían más de flujo a flujo, mientras que los remolinos más pequeños son considerados más universales y menos influyentes en las estructuras principales del flujo, por lo que al ser modelados, no se incurren en mayores errores. A diferencia de los modelos RANS, se usa un filtrado en vez de promediado para los parámetros de flujo, y aún más importante, en la técnica LES, $\overline{u'} \neq 0$.

En general, la práctica del LES ha arrojado mejores resultados en las simulaciones de flujos donde el RANS falla, tales como la reproducción de estelas vorticosas, y otras características propias de un complejo flujo no estacionario [8,9].

Finalmente se debe de señalar que la técnica LES resuelve únicamente los remolinos de tamaños relativamente grandes, esto permite la implementación de mallados con celdas más grandes (más burdas) y pasos temporales mayores con respecto al DNS. Sin embargo, el modelo LES a su vez, requiere mallados más finos que los típicamente usados para cálculos realizados con los modelos RANS. Además, el modelo LES requiere de simulaciones de largos periodos de tiempo de flujo (por ejemplo 15 segundos de flujo divididos en pasos temporales de Δt=0.01s arrojan 1500 pasos temporales), para que se puedan adquirir estadísticas estables y confiables. Como resultado, el costo computacional involucrado por el método LES es de varios ordenes de mayor que el costo de las simulaciones no estacionarias con el modelo RANS en términos de memoria RAM y tiempo de uso del CPU, y es por eso que se requieren simulaciones de alto desempeño (arquitecturas en paralelo) [8].

El filtrado en la técnica LES

El enfoque tradicional de la técnica LES requiere de la solución de un conjunto cerrado de ecuaciones para un campo de velocidad resultante de un proceso de filtrado. Los resultados obtenidos dependen del tipo de filtro que se utiliza y de las características propias del modelo a escala de sub-malla.

Un filtro es una función de la forma $G(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y})$ que produce un campo de velocidades de la siguiente forma:

$$\langle \boldsymbol{U} \rangle(\boldsymbol{x}, t) \equiv \int_{\Re^3} G(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y}) \boldsymbol{U}(\boldsymbol{y}, t) d\boldsymbol{y} \tag{1}$$

Siendo que la función de filtro $G(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y}) d\boldsymbol{y}$ es normalizado mediante:

$$\int_{\Re^3} G(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y})\, d\boldsymbol{y} = 1 \tag{2}$$

Este procedimiento garantiza que el filtrado de un campo de velocidades constante arroje la misma constante. La parte no resuelta del campo de velocidades es denotada por $\boldsymbol{u}'$ y se define como:

$$\boldsymbol{u}' \equiv \boldsymbol{U} - \langle \boldsymbol{U} \rangle \tag{3}$$

Según sea el caso, las fluctuaciones de velocidad filtrada promedio no pueden ser igualadas a cero, es decir $\langle \boldsymbol{u}' \rangle \neq 0$ (a diferencia de las fluctuaciones de velocidad promedio resultantes de la técnica del promediado), sin embargo, en algunos modelos si se considera esa condición simplificadora. Para flujos homogéneos, los filtros poseen la siguiente forma:

$$G(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y}) = G^*(\boldsymbol{x} - \boldsymbol{y}) \tag{4}$$

Al sustituir la ecuación 4 en la ecuación 2 obtenemos:

$$\langle \boldsymbol{U} \rangle(\boldsymbol{x}, t) \equiv \int_{\Re^3} G^*(\boldsymbol{x} - \boldsymbol{y}) \boldsymbol{U}(\boldsymbol{y}, t) d\boldsymbol{y} \tag{5}$$

Adicionalmente, se puede demostrar que la operación de filtrado, al igual que la operación de promediado, posee la propiedad conmutativa en la diferenciación:

$$\langle \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \rangle = \frac{\partial \langle U_i \rangle}{\partial x_j} \tag{6}$$

Esta propiedad es particularmente útil cuando se emplea para simplificar las ecuaciones rectoras para la velocidad filtrada. En la técnica LES, comúnmente se utilizan tres filtros unidimensionales.

El primero es conocido como el filtro Gaussiano:

$$H(r) = \sqrt{\frac{6}{\pi h^2}} e^{-6r^2/h^2} \tag{7}$$

En este filtro, h se toma como la escala de longitud que representa el límite entre las partes resueltas y no resueltas del campo turbulento. El filtro tophat (filtro tipo sombrero) es definido por:

$$H(r) = \begin{cases} 1/h & si\ |r| \leq h/2 \\ 0 & de\ otra\ forma \end{cases} \tag{8}$$

Mientras que el filtro de corte afilado de Fourier es dado por:

$$H(r) = \frac{sen(\pi r/h)}{\pi r} \tag{9}$$

La gráfica de estas funciones (Fig. 1), muestra que los tres filtros se comportan de manera distinta. El filtro "sombrero" es equivalente al filtrado realizado con el promediado local. El filtro Gaussiano consiste en una idea similar excepto que el filtro tiene un mayor peso en el campo local, siendo que el filtro de corte afilado de Fourier equivale al acto del truncamiento de una expansión de Fourier del campo de velocidad.

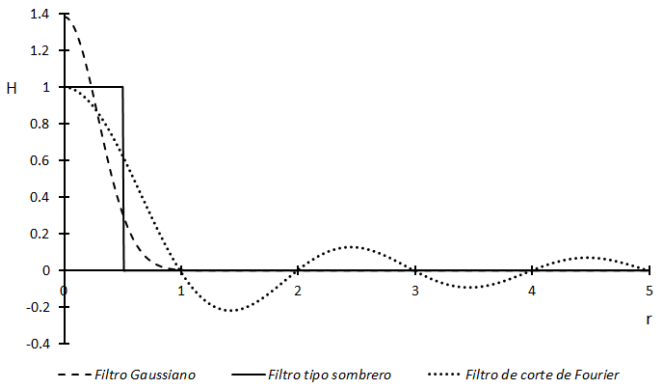


Fig. 1. Tipos de filtros para valores de h=1.

La Fig. 2 nos ilustra el comportamiento de un campo de velocidades sujeto a la acción de un filtro Gaussiano. En ella se puede apreciar como el filtro (línea con un color negro intenso) es básicamente una aproximación en base a una especie de promedio local del complejo comportamiento del campo instantáneo. En la parte inferior, se aprecia como el promedio local de las fluctuaciones (residuos del filtro) tiene valores diferentes de cero, tal como se señaló anteriormente, siendo que en realidad, esas fluctuaciones filtradas representan la parte de la energía del flujo que será resuelta de manera directa (sin ningún modelo) [10].

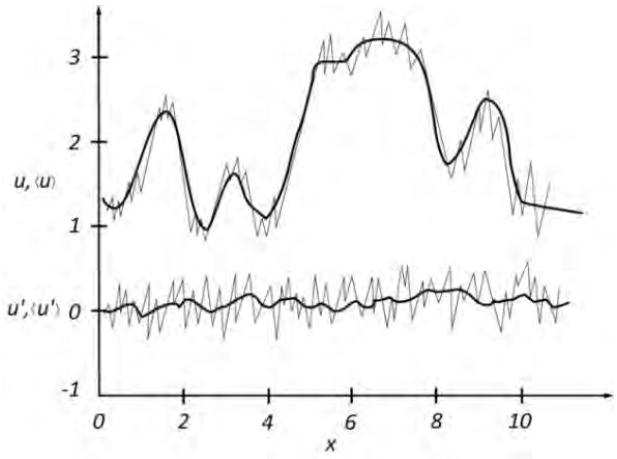


Fig. 2. Campo de velocidades y residuos filtrados.

Las ecuaciones filtradas y sus soluciones

Al aplicar la operación de filtrado a las ecuaciones de Navier Stokes para flujo incompresible y considerando la relación establecida en 6, se pueden obtener una serie de ecuaciones rectoras filtradas para el campo de velocidades, tal como se muestra a continuación:

$$\frac{\partial\langle U_i\rangle}{\partial t}+\langle U_j\rangle\frac{\partial\langle U_i\rangle}{\partial x_j} \quad -\frac{1}{\rho}\frac{\partial\langle P\rangle}{\partial x_i}+\nu\nabla^2\langle U_i\rangle\frac{\partial\tau_{ij}}{\partial x_i} \tag{10}$$

donde:

$$\tau_{ij}\equiv\langle U_iU_j\rangle-\langle U_i\rangle\langle U_j\rangle \tag{11}$$

es conocido como el tensor a escala de submalla.

De manera similar, la ecuación de la continuidad para un flujo incompresible puede ser descrita por:

$$\frac{\partial\langle U_i\rangle}{\partial x_i}=0 \tag{12}$$

En general, se puede observar que tanto las ecuaciones obtenidas del proceso de filtrado como las ecuaciones obtenidas del promediado temporal son prácticamente idénticas. Sin embargo, existe una gran diferencia conceptual con respecto a su interpretación. De manera particular, se puede decir que $\langle U\rangle$ representa valores aleatorios, mientras que $\overline{U}$ representa a valores determinísticos (tienden a un valor único). Además, τ_{ij} representa la influencia de la parte no resuelta del campo de flujo en la parte resuelta, y no tiene una explicación física formal, siendo que con respecto a las ecuaciones promediadas temporalmente, el valor del tensor de esfuerzos de Reynolds $-\overline{u'_\iota u'_j}$ representa al flujo de momento ocasionado por las fluctuaciones turbulentas. Por otra parte, τ_{ij} afectará en menor medida a la dinámica de $\langle U\rangle$, con respecto al grado de afectación de $-\overline{u'_\iota u'_j}$ hacia $\overline{U}$. Con base a lo anterior, se puede considerar que los errores en el modelado de τ_{ij} tendrán menos impacto en los resultados con respecto a los que podrían ser ocasionados por un mal modelado de $-\overline{u'_\iota u'_j}$.

El modelo a escala de submalla (SGS)

Como fue mencionado con anterioridad, el parámetro τ_{ij}no puede ser asociado a una cierta característica física relacionada con el movimiento de un fluido, debido a que éste se basa en la operación de filtrado en vez que la del promediado [11].

Casi todos los modelos a escala de submalla se basan en la ecuación 13, la cual representa al tensor de esfuerzos de Reynolds promediados.

$$\overline{u_i' u_j'} = \frac{2}{3} K \delta_{ij} - \nu_t \left(\frac{\partial \overline{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{U}_j}{\partial x_i} \right) \tag{13}$$

Al sustituir las velocidades filtradas en las velocidades promedio de la ecuación 13 se obtiene:

$$\tau_{ij} - \frac{1}{3} \tau_{kk} \delta_{ij} = -2 \nu_T \langle S \rangle_{ij} \tag{14}$$

donde:

$$\langle S \rangle_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \langle U_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle U_j \rangle}{\partial x_i} \right) \tag{15}$$

La ecuación 15 representa el tensor de deformación filtrado, en donde ν_T es la viscosidad de remolino a escala de submalla, la cual puede ser modelada de distintas maneras.

En general, la técnica LES posee la ventaja de no ser dependiente de un modelo de turbulencia propio de la técnica RANS. Sin embargo, esa independencia es obtenida bajo un costo computacional elevado. Por otra parte, el modelo LES entrega soluciones instantáneas del campo de velocidad filtrado, es por eso que es necesario el manejo de gran cantidad de información almacenada en la memoria de una computadora, y que posteriormente deberá adecuarse (las tareas de postprocesamiento son mayores) [11].

Para los flujos comprensibles, el modelado de los esfuerzos de Reynolds resulta ser una tarea de mayor dificultad, siendo que los modelos SGS para flujos que involucran múltiples fases y flujos reactivos aún se encuentran en la etapa de desarrollo y validación. Para aplicaciones en la combustión, las reacciones químicas y la liberación de calor asociada a ella, se introducen densidades a pequeñas escalas y fluctuaciones de velocidad que tienen que ser acopladas con aquellas escalas más grandes existentes en la dinámica del fluido [8].

En 1993, Menon et al [12], aplicó el modelo del mezclado lineal de remolino a su modelo de combustión por LES. Dentro del contexto del LES, el enfoque de mezclado lineal de remolino puede ser usado para modelar los procesos de pequeña escala que van desde la resolución de mallado más fina que la escala de Kolmogorov, o las escalas más pequeñas relacionadas a las reacciones químicas. Actualmente, los modelos de SGS para este tipo de flujos complejos aún son muy inexactos. Existe una falta de modelos bien validados de SGS especialmente para las interacciones entre las diferentes fases.

Dominio computacional y condiciones de frontera

El dominio computacional del mallado y las condiciones de frontera son mostrados en la Fig. 3, siendo $(D = 1m)$.

La condición de frontera utilizada en la entrada fue "entrada de velocidad". Para tal condición, se predeterminaron fluctuaciones aleatorias bajo el método de la intensidad de las fluctuaciones y el diámetro hidráulico, cuyos valores se fijaron en 20% y 3.63m con la finalidad de reproducir el comportamiento turbulento del flujo a la entrada. Antes de implementar la técnica LES, se aplicó el modelo k-w para 1000 iteraciones aproximadamente para proveerle de las condiciones iniciales adecuadas y mejorar el tiempo de convergencia.

En la salida del dominio computacional se utilizó la condición de frontera "flujo que sale" en su forma convectiva, la cual representa un corte en la zona corriente abajo ubicado lo suficientemente lejos del obstáculo realizado cuando los gradientes en esas zonas dejan de ser significativos para el flujo estudiado.

En las caras superiores e inferiores se utilizaron las condiciones de frontera de pared sin esfuerzos de corte (esfuerzo de corte = 0 Pa), de tal manera que se elimine la necesidad de la resolución de la capa limite.

Con respecto a las superficies izquierda y derecha del dominio computacional, se utilizaron las condiciones de frontera periódicas de traslación, con 2D de profundidad (sin esa suposición, debido a los requerimientos de malla de una simulación con una profundidad digamos de 10D, el problema simplemente no podría ser resuelto). Finalmente, en la pared del cilindro, se utilizó la condición de frontera de no deslizamiento.

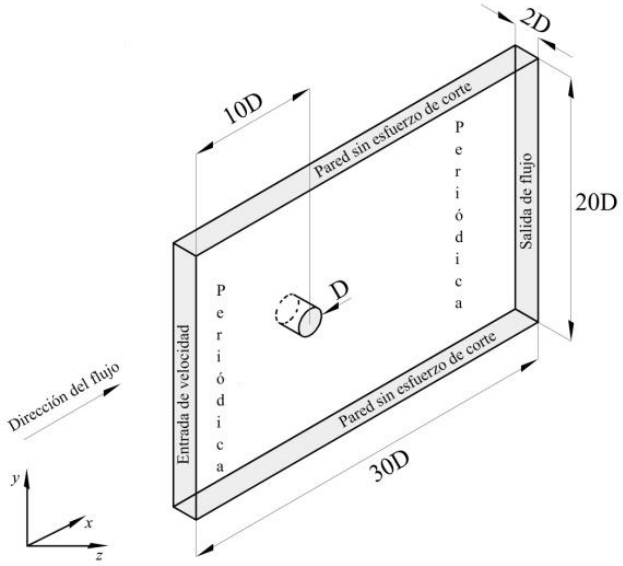


Fig. 3. Dominio computacional.

En lo referente a la discretización temporal, ésta fue determinada en función de un St=0.2 [13], siendo que se utilizaron 30 iteraciones de 0.2 segundos para cada paso temporal. El modelo a escala de submalla utilizado fue el modelo dinámico [14], el cual probó ser adecuado según los trabajos de Breuer [4]. Los resultados reportados fueron obtenidos después de 1500 iteraciones temporales con la finalidad de presentar datos estadísticamente robustos.

Mallado computacional

La malla fue construida con cerca de 869000 elementos en forma de pentaedros. En las zonas cercanas al cilindro se aplicó un refinamiento con la finalidad de mejorar la solución dentro de la capa límite en las zonas aledañas a la pared y posteriormente, se aplicó un segundo refinamiento a las zonas con mayores gradientes en el flujo.

La solución de los gradientes de las variables transportadas en los centros de las celdas fue determinada según el teorema de Green-Gauss [15].

La Fig. 4 nos muestra un acercamiento en las zonas cercanas a la pared del cilindro, en ella se puede apreciar el refinamiento en las paredes (primer refinamiento), así como un refinamiento que obedece a las posiciones donde el flujo se separa y forma la estela (segundo refinamiento). Este segundo refinamiento puede ser observado en la parte derecha de la Fig. 4, en aquellas posiciones en las cuales puede apreciarse fácilmente cómo ciertas celdas más pequeñas fueron obtenidas de subdividir celdas de mayor tamaño.

Resultados

Los resultados se obtuvieron en base a un criterio de convergencia de la continuidad del orden de 10E-3 y de las velocidades en "*x*" "*y*" y "*z*" del orden de 10E-5.

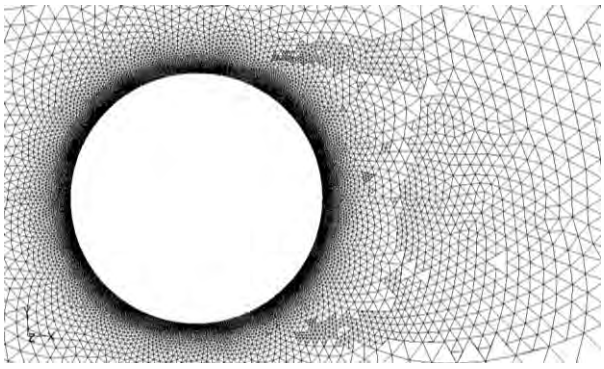


Fig. 4. Mallado computacional cerca de la pared.

La Fig. 5 muestra la gráfica de contornos de la magnitud de la vorticidad instantánea del flujo sobre el cilindro. En ella se aprecia el vigoroso mezclado (zonas claras de mayor vorticidad) que ocurre en la parte posterior del cilindro así como la formación de estructuras de flujo alternantes que se disipan y amplifican en las partes posteriores del cilindro (degradación de las zonas claras). También, se pueden identificar la resolución de las estructuras en forma de remolino propias de la técnica LES.

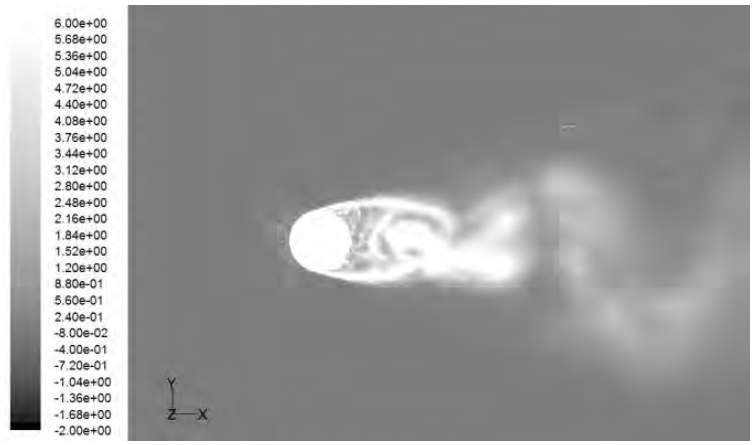


Fig. 5. Contornos de vorticidad del flujo.

La gráfica de líneas de corriente del cilindro (Fig. 6) ilustra mejor el mecanismo de mezclado que se lleva a cabo en la parte posterior del cilindro. En ella se observa que en esa zona es en donde las dos corrientes de flujo (superior e inferior) convergen, provocando choques en el fluido y recirculaciones, gracias a la difusión de momento, masa y energía.

La distribución de presiones a lo largo del cilindro resultado de la simulación y su comparación con los datos experimentales de Cantwell & Coles y Sarioglu & Yakuz [16] son mostrados en la Fig. 7. En ésta figura, se puede apreciar en general una buena coincidencia entre los valores obtenidos numéricamente y los experimentales, exceptuando unas ciertas posiciones ubicadas en la estela ($90\text{-}120^0$). Con respecto al ángulo de separación obtenido en esta simulación, el valor obtenido de 75 grados se encuentra muy cercano al valor reportado de 77 grados [4,16], lo que habla en general de un aceptable desempeño del modelo.

El coeficiente de arrastre promedio de la simulación realizada fue de 1.05, el cual está alejado al valor reportado por Zradkovic (1.15-1.35), mostrando un error del 11% con respecto al límite inferior. Lo anterior puede explicarse al observar la Fig. 8. En ella podemos apreciar que no todas las celdas se encuentran posicionadas dentro de la subcapa viscosa ($y+<5$) [9,16], y por lo tanto, los modelos a escala de submalla no fueron capaces de predecir adecuadamente los valores de los esfuerzos viscosos en la pared.

Continuando con la idea anterior y recordando que el coeficiente de arrastre promedio es resultado de una sumatoria de las fuerzas tanto de presión como viscosas en la superficie del cilindro, es posible que la contribución viscosa fuera la errónea (la distribución de presiones parece haber sido bien predicha, véase la Fig. 7). La causa evidente es un insuficiente número de celdas en las zonas cercanas a la pared, que le hubieran permitido al modelo aproximar adecuadamente el valor de $y+$.

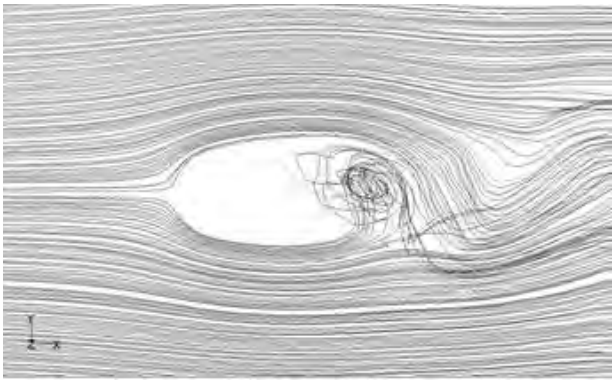


Fig. 6. Líneas de corriente de la parte posterior del cilindro.

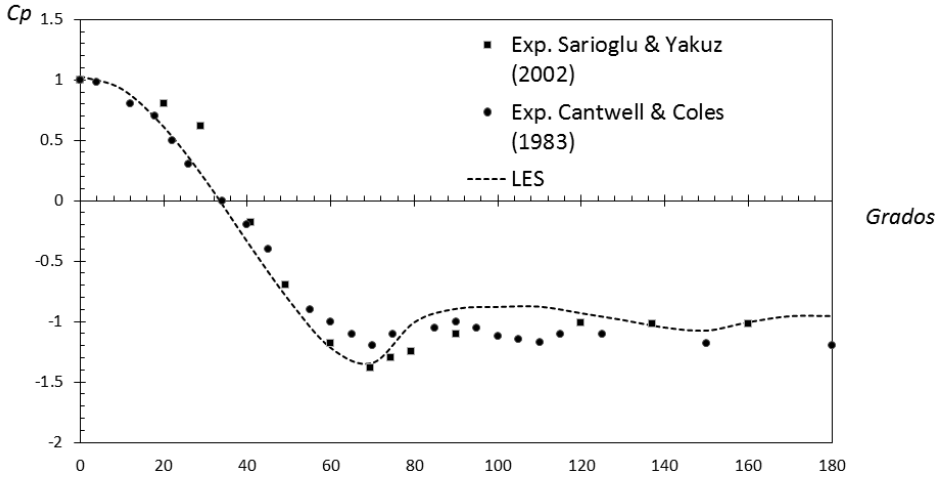


Fig. 7. Distribución de presiones promedio en el cilindro.

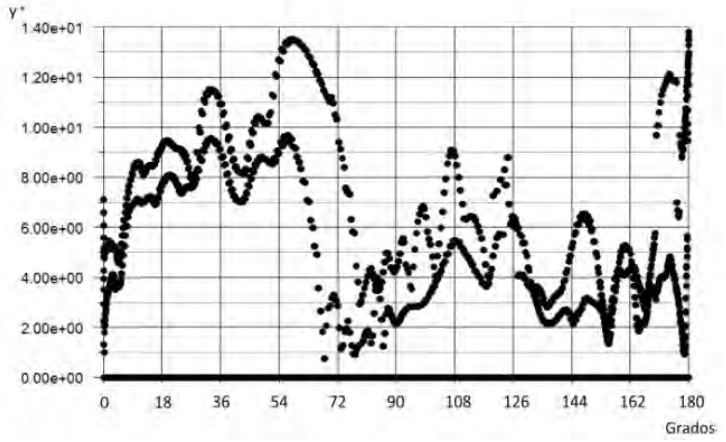


Fig. 8. Distancia adimensionalizada de los nodos más cercanos a la pared del cilindro.

La distribución de esfuerzos de corte promedio en la superficie del cilindro es mostrada en la figura 9. Desafortunadamente, para fines de comparación, no se encontraron reportes acerca de los valores para el número de Reynolds de 1.4E+5. Sin embargo, al realizar la comparación para condiciones de flujo similares, podemos apreciar como la técnica LES fue capaz de reproducir aceptablemente la tendencia. Cabe señalar que la adquisición de información acerca de las fuerzas cortantes en las paredes es muy complicada de realizar experimentalmente.

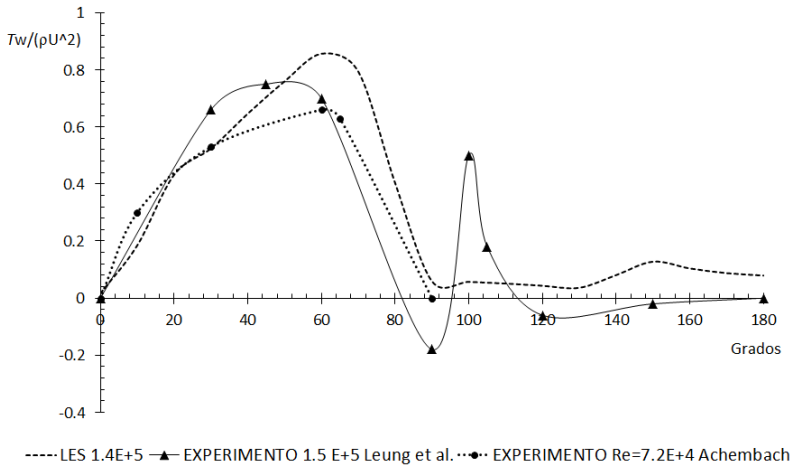


Fig. 9. Distribución de esfuerzos cortantes promedio en la pared.

Conclusiones

En este trabajo, se realizó la simulación numérica del flujo externo sobre un cilindro a un Re=1.4E+5. Éste número de Reynolds fue seleccionado debido a que presenta características difíciles de reproducir numéricamente. Se utilizó el modelo simulación de grandes remolinos para resolver las ecuaciones de la continuidad y de Navier Stokes.

El modelo LES fue capaz de reproducir el mezclado, las oscilaciones y naturaleza del flujo turbulento a éste número de Reynolds, siendo que los resultados obtenidos de características de flujo tales como a distribución de coeficientes de presión y cortantes adimensionales, así como el punto de separación del flujo coinciden de manera cercana con los valores reportados experimentalmente.

Sin embargo, algunas otras características tales como el coeficiente de arrastre promedio no pudieron ser reproducidas con el éxito esperado. Como una posible solución para poder resolver este tipo de inconvenientes, se plantea la resolución de éste problema con un mallado más fino, de tal manera que los algoritmos de las zonas cercanas a la pared puedan funcionar óptimamente a lo largo de toda la periferia del cilindro.

Por otro lado, aunque con este tamaño de malla, los resultados podrían ser útiles a nivel ingenieril, para estudios científicamente más válidos, resulta indispensable un estudio de independencia de malla, para garantizar resultados enteramente dependientes del modelo utilizado. Desafortunadamente, esto no siempre es factible debido a los requerimientos de tiempo y recursos computacionales planteados por el modelo LES. Éste trabajo forma parte de una etapa en la investigación del flujo turbulento sobre un cilindro, y fue realizado con una computadora convencional, la cual contenía un procesador Intel Celeron 900 a 2.20GHz de procesamiento con 2GB de memoria de acceso aleatorio.

La solución tardó aproximadamente 3 semanas en converger, y la malla aun así, no resultó ser demasiado fina con respecto a la utilizada en otros trabajos (entre 1 y 6 millones de elementos), esto nos da una idea de los requerimientos computacionales propios de ésta técnica.

Agradecimientos

Finalmente, los autores quisieran expresar su agradecimiento por las facilidades prestadas en el Laboratorio de Ingeniería Hidráulica y Térmica Aplicada (LABINTHAP) del Instituto Politécnico Nacional, para el desarrollo de este trabajo, y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado.

Referencias

[1] Weaver D. “A review of cross flow induced vibrations in heat exchanger tube arrays”. Journal of fluids and structures. Vol. 2. PP. 73-93. 1988.
[2] Zradkovich. “Flow around circular cylinders". Libro. Editorial. Oxford University Press. PP.163-198. 1997.
[3] Mittal, "Large eddy simulation of flow past a circular cylinder". Centre for turbulence research. Annual briefs. 1995.
[4] Breuer M. "A challenging test case for large eddy simulations: high Reynolds number circular cylinder flow". International Journal of heat and fluid flow. Vol. 21. PP. 648-654. 2000.
[5] Meng W, Catalano P, Iaccarino G. "Prediction of high Reynolds number flow over a circular cylinder using LES with wall modeling". Centre for turbulent research. Annual briefs. 2001.
[6] Dietz M; Fan J; Steinhoff Y. “Application of vorticity confinement to the prediction of flows over complex bodies”. Conferencia AIAA.2001.
[7] Catalano P, Meng W, Iaccarino G, Moin P. "Numerical simulation of the flow around a circular cylinder at high Reynolds numbers". International Journal of Heat and Fluid Flow. Vol. 24. PP. 463–469. 2003.
[8] Xi Jiang. "Numerical Techniques for Direct and Large-Eddy Simulations”. Libro. Editorial Chapman and Hall. PP. 1-87. 2009.
[9] Fluent Users manual. Capítulo 11. Modeling turbulence. PP. 1-88. 2005.
[10] Pope S. “Turbulent Flows”. Libro. Editorial Cambridge University Press. 2000.
[11] Bernard P; Wallace J. “Turbulent Flow, Analysis, Measurement and Prediction”. Libro. Editorial John Wiley and Sons. 2002.
[12] Menon S; McMurtry P; Kerstein A. “A Linear Eddy Flamelet Subgrid Model for Large Eddy Simulations of Turbulent Premixed Combustion”. En el libro: Large Eddy Simulations of Complex Engineering and Geophysical Flows. Editorial Cambridge University Press. 2005.
[13] Schlichting G. "Boundary layer theory".Libro. Editorial Mc Graw-Hill. PP. 32-33. 1979.
[14] Germano M; Piomelli U; Moin P; Cabot W. “A Dynamic Subgrid Scale Eddy-Viscosity Model”. Journal of Physics of fluids. Vol. 3. PP. 1760-1765.1991.
[15] Kim S, Makarov K, Caraeni D, "Multidimensional reconstruction scheme for unstructured meshes. Journal AIAA. P.P. 2004-2548. 2004.
[16] Sung-Eung K, Srinivasa M. " Prediction of unsteady loading on a circular cylinder in high Reynolds number flows using large eddy simulation". ASME. 24th International conference OAME. 2005.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 113. Volumen 4(1), 6 páginas.

COCINA SOLAR BAJO TECHO

Areli Arcos Pichardo[1,2], Jorge Pineda Piñón[2], Miguel Angel Hernández Román[1,2].

Resumen

El desarrollo de la cocina solar bajo techo forma parte del proyecto de investigación titulado "La Vivienda Sustentable de Bajo Costo" , cuya finalidad es incidir en las políticas públicas del Estado, considerando en forma integral el diseño, construcción y evaluación de un prototipo de Unidad Básica de Vivienda Rural y Traspatio Sustentable en la comunidad de La Carbonera, Municipio de Santiago de Querétaro, Qro., que integre el diseño arquitectónico, los materiales de construcción, energías renovables, ecotecnias, procesos productivos, prácticas sustentables para su uso y apropiación, contribuyendo a la mejora de la calidad de vida de la población, tomando en cuenta la conservación, el sistema territorial y el manejo del capital social y natural, disminuir los impactos ambientales, incrementar la eficiencia energética y promover la seguridad alimentaria de traspatio, así como la conciencia ambiental, con la finalidad de impulsar el desarrollo regional del Estado. El objetivo general del proyecto de "Cocina Solar Bajo Techo" es diseñar, construir, caracterizar e instalar una cocina que proporcionará la energía necesaria para la cocción y calentamiento de todos los alimentos de la familia que habite en "La Vivienda Sustentable".
Palabras clave: Cocina solar, Energía Solar, Fluido, CPC, Tubos de vacío.

Abstract

The solar cooker project under roof part a research project entitled "Sustainable Low Cost Housing", whose purpose is to influence public policy of the State, considering in a comprehensive design, construction and evaluation of a prototype of Basic Unit Rural Housing and Sustainable Backyard in the community of La Carbonera, Municipality of Santiago de Querétaro, Qro. that integrates architectural design, building materials, renewable energy, eco-techniques, production processes, sustainable practices for use and ownership, contributing to improve the quality of life of the population, taking into account the conservation, the territorial system and the management of social and natural capital, reduce environmental impacts, increase energy efficiency and promote food security and backyard, as well as environmental awareness, with the aim of promoting regional development in the state. The overall objective of the project "Solar Indoor Kitchen" is to design, build, characterize and install a kitchen that will provide energy for cooking and heating all foods the family is living in "Sustainable Housing".
Keywords: Solar Cooker, Solar Energy, Fluid, CPC, Vacuum Tubes.

Descripción del problema

Escasez de combustibles

Los combustibles fósiles han sido la fuente fundamental de energía de la sociedad industrial. Al iniciarse el nuevo milenio representaban algo más del 85% de toda la energía comercial usada en el mundo. Entre ellos el más utilizado en la segunda mitad del siglo XX, representando el 40% del uso total en 2001 ha sido el petróleo debido a su alta concentración energética por unidad de volumen, a la facilidad en su transporte y a la enorme versatilidad en sus usos, nuestra civilización depende de una fuente de energía limitada y agotable [1].

[1] Instituto Tecnológico de Querétaro. Av. Tecnológico s/n Esq. M. Escobedo Col. Centro C.P.76000 Querétaro, Qro. México. Teléfono: 01(442)227-4400 - Fax 01(442)216-9931. Web: http://www.itq.edu.mx

[2] Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del IPN, Unidad Querétaro. Cerro Blanco No. 141. Col. Colinas del Cimatario, C.P. 76090 Querétaro, Qro. México. Teléfonos: 01(442)229-0804 y 01(55)5729-6000 Ext. 81002 http://www.cicataqro.ipn.mx

Introducción

La noticia del agotamiento del petróleo en realidad no es nueva, ya en 1949 King Hubber, publicó en la revista *Science*, la poca duración de la era de los combustibles fósiles. Fue el primer geofísico en hacerlo. Hubbert era en esa época un empleado de la compañía petrolífera, Royal Dutch Shell, contratado para estudiar sus pozos y hacer predicciones de explotación. Se dio cuenta de que las explotaciones de los pozos seguían una pauta concreta. Tras un pausado comienzo se podían explotar exponencialmente hasta que llegaba un momento en que cesaba ese progreso exponencial, y a partir de ahí la producción disminuía, al mismo ritmo que en la subida, hasta que se agotaba el pozo [2].

Esta predicción se hizo realidad en la década de los años 70´s, cuando Estados Unidos de Norteamérica vio mermada su producción de crudo al grado de que en la actualidad importa cerca del 80% del petróleo que consume. Y este comportamiento se predice a nivel mundial.

De acuerdo a un artículo publicado por Association for the study of peak oli & gas en México se cuenta con una reserva de 12.908 billones de barriles de petróleo (BBL) [3].

Problemas de salud

Alrededor de 28 millones de mexicanos consumen alimentos guisados con leña, en países como India el 47% de la energía para cocinar proviene de esta fuente, mientras que en África el 75% de la población utiliza la leña como principal fuerte energética en la cocción de alimentos, en resumen, a nivel mundial hasta 2 mil millones de personas cocinan con leña [4]. Lo que provoca una emisión al medio ambiente de 7 mil millones de toneladas de carbono en forma de gases de efecto invernadero.

Esta fuente energética provocan accidentes y muertes prematuras por quemaduras e intoxicaciones a cerca de 2.7 millones de personas cada año.

Costos elevados

En México las fuentes energéticas caseras para la cocción de alimentos también incluyen el gas LP, el cual tiene diferentes costos que varían según la región, en la Tabla 1 se muestran los costos para algunos estados de la República Mexicana, según la ASOCIMEX para abril 2011. [5]

Tabla 1.- Costo del gas LP para algunos estados de la República Mexicana. [5]

ESTADO	$/kg	$/Lt
QUERÉTARO	10.49	5.66
DISTRITO FEDERAL	10.24	5.53
ESTADO DE MÉXICO	10.47	5.66
GUANAJUATO	10.33	5.58
JALISCO	10.41	5.62

Antecedentes técnicos

Una de las soluciones más aceptables parece ser el uso de la energía solar como energía alternativa debido a su alta emisión en diferentes estados de la República Mexicana, entre los que se encuentra Querétaro.

En la Tabla 2 se muestran los datos de la página de internet de la NASA donde se observan los valores de la radiación solar en la ciudad de Querétaro.

Componentes principales.

Por lo anterior, se han desarrollado diferentes tecnologías que utilizan el sol como fuente de energía. Las cocinas solares que funcionan con colector solar cuentan principalmente de:

- Un concentrador solar que son prácticamente un conjunto de espejos o láminas de metal que se encargan de concentrar la luz y calor proveniente del sol en una pequeña área generando mayor energía por unidad de área.
- Convertidor de luz en calor, recubrimiento negro en el interior de la cocina solar que mejorará la eficacia.
- Aislamiento de calor, Se utiliza un material aislante como el plástico que impida que el calor introducido se escape de nuevo al medio ambiente.
- Aislante de la olla interna, Por último se requiere que el contenedor de los alimentos se encuentre perfectamente aislado para evitar que los alimentos se derramen sobre las otras partes de la cocina.

Ventajas de la cocina solar

- Las cocinas solares no usan combustibles lo que significa eliminar por completo el uso de leña, gas y electricidad o cualquier otra fuente energética.
- No producen humo lo que contribuye a la disminución de la contaminación por este medio.
- Disminuye en gran medida las enfermedades causadas por la inhalación de sustancias tóxicas producidas por la emisión de humo de otras fuentes energéticas.
- La seguridad está garantizada, ya que la temperatura alcanzada está limitada, lo que elimina el riesgo de incendios.
- Elimina la suciedad ocasionada por la producción de carbón u hollín de otras formas de energía. Los niños pueden usarla en forma confiable, eliminando por completo los accidentes por quemaduras.

Tabla 2.- Radiación solar promedio diaria en Querétaro. [6]

MES	Radiación solar diaria (KWh/m^2)
Enero	4.84
Febrero	5.86
Marzo	6.81
Abril	7.04
Mayo	6.81
Junio	6.36
Julio	6.14
Agosto	6.06
Septiembre	5.49
Octubre	5.29
Noviembre	5.09
Diciembre	4.58
Promedio anual	5.86

Objetivo general

Diseñar, fabricar, caracterizar e instalar una cocina solar, que permita la cocción de los alimentos dentro de una casa habitación.

Metodología

El proyecto de cocina solar bajo techo constará de cuatro etapas importantes:

- Etapa de Diseño. En esta etapa se realizará un estudio sobre las condiciones ambientales del lugar donde se instalará la cocina, además de las necesidades energéticas de la familia que utilizará la casa.
- Etapa de Fabricación. En esta etapa se hará el proceso de simulación y fabricación de la cocina.
- Etapa de caracterización. Se pretende además caracterizar la cocina para proporcionar un manual de uso con la finalidad de aumentar su eficiencia.
- Etapa de instalación. Por último se instalará la cocina en la vivienda sustentable.

Etapa de diseño

La Carbonera

La Carbonera es una localidad perteneciente al municipio de Querétaro, en el estado de Querétaro de Arteaga. Está situada a 2,110 metros de altitud sobre el nivel del mar, sus coordenadas geográficas son longitud: 20º 48' 20", latitud: 100º 30' 03".

Terreno

El predio pertenece a la Sra. Eulalia Morán, con una superficie de 4.84 hectáreas, distribuidas como se muestra en la Fig. 2.

Hábitos alimenticios

Se realizó una encuesta a la señora Rosa Balderas Moreno quien habitará la vivienda sustentable, con el propósito de conocer sus hábitos alimenticios y el consumo energético, de toda la familia.

Fig. 1.- Vista satelital de la carbonera.

Resultados

La entrevista con la señora Rosa Balderas Moreno arrojo los siguientes datos, mostrados en la Tabla 3. De acuerdo a los datos proporcionados por la señora, su consumo energético es el indicado en la Tabla 4.

Discusiones

El proyecto "Cocina Solar Bajo Techo" se encuentra en una etapa inicial, sin embargo contará con una estructura principal:

Un concentrador solar de canal parabólico; un contenedor aislante donde se almacenará el fluido caliente, una parrilla con tres o cuatro hornillas, un contenedor aislante para el fluido ya utilizado y el juego de tuberías que unan los dispositivos centrales.

Con los valores arriba mencionados se podrá obtener las dimensiones necesarias para el diseño del prototipo a desarrollar. Estos valores son necesarios para determinar: temperatura necesaria, tiempo de consumo, horario de consumo máximo, superficie de colector, dimensiones de contenedor, cantidad de hornillas, volumen del fluido necesario, etc.

Agradecimientos

Este proyecto cuenta con apoyo del CONCYTEQ y del CONACYT. Los autores agradecen al apoyo del programa PIFI del IPN.

Referencias

[1]. Laherrere, J. *Fin de la era del petróleo barato.* 1998, Investigación y ciencia, págs. 66-71.
[2]. Ballenilla, Fernando.*El final del petróleo barato.* 2004, El Ecologista, págs. 20-23.
[3]. Berge, Kirk R. APSO International. [En línea] 7 de Diciembre de 2000. [Citado el: 20 de abril de 2011.] http://www.peakoil.net.
[4]. Silva, Klemens Schwarzer and Maria Eugenia Vieira da. *Solar Cooking System with or without Heat Storage for Families and Institutions.* 2003, Solar energy, págs. 35-41.
[5]. Garza, Jaime. ASOCIMEX. [En línea] [Citado el: 25 de ABRIL de 2011.] http://www.asocimex.com.mx/precioglp.php.
[6]. Stackhouse, Paul W. NASA. *Surface meteorology and Solar Energy.* [En línea] 26 de Marzo de 2008. [Citado el: 12 de Septiembre de 2011.] http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/.
[7]. Herrera, Diego Alberto Loyola. Sistema de Información Geográfica para la el Prototipo de Vivienda Rural Sustentable Bicentenario. Querétaro : s.n., 2011.
[8]. Gas Butano. Toda la información. [En línea] [Citado el: 12 de Agosto de 2011.] http://www.gasbutano.org/.

Ficha técnica - Terreno No. 4

Datos Generales del predio

Propietario: Eulalia Morán

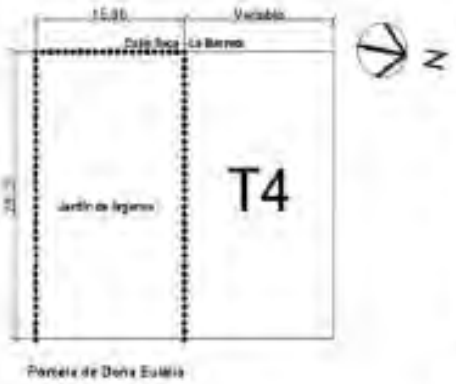
Dirección: localidad Cerro de la Cruz, Ejido Pie de Gallo, Qro.

Superficie: 4.64 ha, Parcela

Croquis de localización

Fotografía

Levantamiento Topográfico



Características

Topografía	Pendiente mínima
Vegetación existente	Órganos, maguey, mezquite, xichote, pinos, palo dulce.
Accesibilidad	Caminos de terracería
Planes a futuro	Vialidad a futuro que conecte la Barreta con Pie de Gallo
Servicios	Cuenta con la instalación, pero no con el servicio
Otros	El predio se encuentra en la comunidad de Cerro de la Cruz

Elaborado por alumnos de Arquitectura del ITQ.

Fig. 2.- Ficha técnica del terreno [7].

Tabla 3.- Recopilación de la información adquirida.

Horario	Alimentos	Cantidad	Frecuencia
6:hrs.	Tortillas	4.5 kg	Tres o cuatro veces por semana
7:00 hrs.	Agua Huevo Tortillas Frijoles Atole	2 litros 8 piezas 25 piezas ½ kg 2 litros	Diario
7:30 hrs.	Papas Nopales Tortillas Frijoles	2 piezas medianas 0.5 kg Variable Incluidos en la comida	Lonche para trabajadores en días laborales
12:00 hrs.	Sopa de pasta Papas Nopales Acelgas Tortillas Frijoles Chile Carne	1bolsita 5 piezas medianas 1 kg Variable 50 piezas ½ kg Variable 0.5 kg	Diario Ocasionalmente
17:00 hrs.	Maíz	4.5 kg	Tres o cuatro veces por semana
18:00 hrs.	Frijoles	½ kg	Diario
19:00 hrs.	Agua Pan Atole	2 litros Variable 2 litros	Diario

Tabla 4.- Consumo y costo energético de la familia [8].

	Consumo mensual	Costo	Valor energético
Gas Butano	60 kg	$ 620.00	656.28 kcal
Leña	40 kg	$ 300.00	437.52 kcal
Total	--	$ 920.00	1,093.80 kcal

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 117. Volumen 4(1), 7 páginas.

EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES EN UN DESTILADOR SOLAR TIPO CASETA

Jorge F. Rodríguez González[1], M. Berenice G. Quintana Díaz[2], Fernando Toledo Toledo[3], Vicente Ayala Ahumada[4]

Resumen

La energía así como el suministro de agua son indispensables para el desarrollo económico de los países, sin embargo el abastecimiento de estos recursos son dos de los principales problemas que tendremos que afrontar y resolver durante este siglo. Mientras es claro que en las próximas décadas el petróleo dejará de ser el energético dominante, todavía no está claro qué recurso energético será el que lo reemplace. Al mismo tiempo la escasez de agua se volverá más crítica a mediados de este siglo. De todos los problemas ambientales, aquellos relacionados con energía y agua son probablemente los que tendrán las peores consecuencias a largo plazo. La tecnología de destilación solar reduce la brecha que existe entre las actuales condiciones de agua de muchos lugares de México y los sistemas centralizados de purificación de agua que se planean para el futuro, ya que, en muchas regiones del país donde hay mínimas posibilidades de establecer cualquier tipo de sistema centralizado para el tratamiento de agua, los destiladores solares proporcionan una solución inmediata, barata y sencilla para la obtención de agua limpia buena para el consumo humano.
En el presente trabajo se evalúa el rendimiento de un destilador solar tipo caseta mediante la identificación de los parámetros *(variables)* más importantes que permitan aumentar su eficiencia.
Palabras clave: Destilación de agua, destilación solar, tecnología de destilación.

Summary

The water energy as well as provision are indispensable for the economic development of the countries Nevertheless the supplying of these resources are two of the main problems that we will have to confront and to solve during this century. While it is clear that in the next decades petroleum will stop being power the dominant one, still is not clear what power resource will be the one that replaces it. At the same time the water shortage will become more critical in the middle of this century. Of all the environmental problems, those related to energy and water are probably those that will have the worse consequences in the long term.
The solar technology of distillation reduces the breach that exist between the present conditions of water of many places of Mexico and the centralized systems of water purification that are planned the future for, since, in many regions of the country where there are minims possibilities of establishing any type of system centralized for the water treatment, the solar stills provide an immediate solution, cheap and simple for clean water obtaining the good for the human consumption. In the present work the yield of a solar still is evaluated type house by means of the identification of the parameters (variable) more important that they allow to increase his efficiency.
Keywords: Distillation Technology, Solar Distillation, Water Distillation.

Introducción

El destilador solar tipo caseta, es uno de los destiladores solares más simples y comunes en la actualidad y consiste en:

Colector solar

Que consta de una charola, amplia, extensa y poco profunda que se coloca en forma horizontal. Dentro de ésta se coloca el agua, la cual se calienta directamente por contacto con el fondo de la misma.

[1] Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Av. San Pablo 180, colonia Reynosa Tamaulipas, Delegación Azcapotzalco, C.P. 2200 México D.F. E-mail: jorgefr9@hotmail.com, [2] mbqd@correo.azc.uam.mx, [3] ftoledo2@correo.azc.uam.mx, [4] ava@correo.azc.uam.mx

Como todos los colectores que trabajan a temperaturas relativamente altas, se requiere un aislante térmico en las partes adecuadas, para evitar pérdidas de calor que se traducen en el efecto no deseado. El material con que se construya la charola colectora no es especialmente importante desde el punto de vista térmico, pero sí desde otros puntos de vista. Por ejemplo, la lámina de hierro puede tener problemas de corrosión, aumentado precisamente por la presencia de las sales que se desean remover.

Evaporador

Es la región en la que se lleva a cabo la evaporación del agua. En el caso particular del destilador de caseta, el evaporador es la misma charola que funge como colector. La superficie superior, es decir, el espejo de agua, es propiamente el evaporador.

Cámara de aire

Sobre el evaporador existe una región con aire, que separa a éste del condensador. La función del evaporador es transferir agua al aire para saturarlo. El aire sirve como medio de transporte para las moléculas de agua que viajan del evaporador al condensador.

Condensador

El aire que separa el evaporador del condensador normalmente se encuentra saturado. Esto propicia la extracción del agua, en forma líquida, en alguna región que se encuentre a temperatura menor que el resto del sistema y particularmente de la temperatura del evaporador. Esta región se llama condensador. En un destilador de caseta, esto se logra colocando una cubierta de algún material transparente, a una cierta distancia sobre el evaporador. Típicamente se utiliza vidrio o algunos plásticos. Para que el condensador funcione eficientemente, en un destilador de caseta, debe tener varias características. Por ejemplo, debe ser un área relativamente grande, por lo menos semejante al área del evaporador. Debe estar ventilado (no aislado) para que se den los flujos de calor hacia el ambiente, de tal manera que lo mantengan a menor temperatura que el resto del destilador. Debe tener una cierta inclinación, con el objeto de que el agua que se condensa sobre la cara interna del destilador escurra en la dirección deseada. [4].

El destilado que escurre hacia abajo, a lo largo de la cubierta del condensador, debe ser recolectado de forma que no se contamine y no se evapore de nuevo. Para ello se utilizan unos pequeños canales casi horizontales, colocados en la parte baja del condensador, pero protegidos adecuadamente contra la posibilidad de que el destilado se mezcle con el destilando. Estos canales colectores se conectan con tuberías que conducen el destilado al punto deseado, que suele ser un almacén relativamente cercano.

Los materiales involucrados en la construcción de los elementos que conducen el destilado son muy importantes. El agua destilada es, por sí misma, inodora e insípida. Sin embargo, es muy ávida de adquirir sabores y olores extraños. La mayoría de los metales, los plásticos y los materiales cerámicos, transfieren al agua destilada un sabor característico. Los únicos materiales que se ha encontrado que no alteran el sabor del destilado son: el vidrio, el acero inoxidable y algunos plásticos (silicón, acrílico, PET) cuando están completamente curados.

La productividad típica de los destiladores solares de caseta (y de casi todos) es del orden de 3 a 5 litros diarios por metro cuadrado de destilador. Esta productividad depende no sólo del diseño del destilador, sino que depende fuertemente de muchos factores atmosféricos, de los cuales tenemos: la magnitud de la irradiación solar, la temperatura ambiente y la velocidad de los vientos.

Como una aproximación, a mayor irradiación, a mayor velocidad del viento y a menor temperatura ambiente, la productividad de los destiladores de caseta aumenta. Una interpretación de estos fenómenos es que, a mayor irradiación se tiene mayor entrada de energía al colector y al evaporador, por lo cual se favorece la evaporación del destilando. Por otro lado, a menor temperatura ambiente y mayor velocidad del viento, se favorece la remoción de calor del condensador, con lo cual se favorece la condensación. Así, en una primera aproximación, se estarían favoreciendo ambos procesos necesarios para la purificación del agua en el destilador.

Como consecuencia del gran interés en la purificación de agua mediante el consumo de energía solar se han desarrollado diferentes diseños de destiladores solares, entre ellos el destilador solar de dos vertientes consta de un “tejado” de material transparente de dos vertientes. Las gotas de agua que se han condensado en el panel transparente se deslizan por los lados y precipitan a un depósito situado bajo la bandeja donde se dispone el agua para destilar. En este modelo la captación de energía solar es más eficiente que en el modelo anterior ya que no existen paredes que puedan proyectar sombras al interior de la caja.

Metodología experimental

El diseño estadístico de experimentos contempla una amplia variedad de estrategias experimentales que son óptimas para generar la información que se busca. El diseño factorial 2^n describe los experimentos más adecuados para conocer simultáneamente qué efecto tienen *n* factores sobre una respuesta y descubrir si interaccionan entre ellos.

Estos experimentos están planeados de forma que se varían simultáneamente varios factores pero se evita que se cambien siempre en la misma dirección. Al no haber factores correlacionados se evitan experimentos redundantes. Además, los experimentos se complementan de tal modo que la información buscada se obtiene combinando las respuestas de todos ellos. Esto permite obtener la información con el mínimo número de experimentos (y por tanto, con el menor costo) y con la menor incertidumbre posible (porque los errores aleatorios de las respuestas se promedian). Se consideraron para este proyecto, las siguientes variables: Superficie selectiva, seleccionamos la superficie del acero inoxidable (absortividad de 0.05) y por el otro una superficie rugosa de polietileno (absortividad de 0.94). Espejo de agua poco profundo, así se evita la inercia térmica Aislante, el empleo de éste debe ser benéfico para alcanzar temperaturas de evaporación más altas. Limpieza en la cubierta, el depósito de polvo o suciedad en el vidrio es evidente que debe ocasionar una baja en la eficiencia de la destilación, pero no sabemos a ciencia cierta de cuanto es esta pérdida. El viento induce temperaturas de condensación más bajas y por lo mismo debe de tener una influencia favorable, sin embargo, el efecto sobre todo el equipo de destilación debe ser negativo pues puede ocasionar temperaturas bajas. Uso de Tenso activos en la cubierta, si colocamos un tenso activo sobre el vidrio tendremos condensación en forma de película y esto debería bajar la eficiencia de producción de destilado, sin embargo, el que no se tengan gotas o que estas escurran rápidamente puede mejorar la producción de destilado

En razón del número de variables (6), realizar el diseño completo de un plan factorial 26 implicaría 64 experimentos, lo cual sería muy tardado y requeriría de mucho esfuerzo, además de correr el riesgo de perder el objetivo real del proyecto. Por esta razón se decidió seleccionar un plan factorial fraccionado (Tabla 1).

Se denotaron como "+" a los siguientes casos:

- Con superficie selectiva.
- Con aislante.
- Con viento.
- Nivel alto de agua.
- La superficie del vidrio limpia.
- Con uso de tensoactivo.

Con el signo "-":

- Sin superficie selectiva.
- La superficie del vidrio sucia.
- Nivel bajo de agua.
- Sin viento.
- Sin aislante.
- Sin ponerle tensoactivo al vidrio.

Se construyeron 4 equipos en acero inoxidable 304 y vidrio normal de 6mm. Todos con la misma forma, material y dimensiones (0.91m x 0.595m x 0.06m), con la finalidad de tener un sistema de comparación (Fig. 1). Para alimentar los destiladores se utilizó agua de la llave (potable) con las características siguientes:

- pH = 7.1
- Conductividad = 900 µS
- Sólidos disueltos totales = 1000 ppm

Para el nivel bajo de espejo de agua se alimentaron aproximadamente 4 litros por cada equipo. En el caso de nivel alto aproximadamente 15 litros. Como aislante se seleccionó espuma de poliestireno expandido de una pulgada de espesor, esta se aplicó a toda la superficie exterior del acero inoxidable. Las tuberías y el vidrio no fueron aislados.

Tabla 1. Matriz de experimentos del diseño factorial fraccionado.

Experimento elemental	Superficie selectiva (S)	Espejo de agua (E)	Aislante (A)	Limpieza en la cubierte (L)	Viento (V)	Uso de tensiactivo (T)
1	-	-	-	-	+	-
2	+	-	-	+	+	+
3	+	+	+	+	-	-
4	+	+	+	-	+	+
5	+	-	+	-	-	-
6	-	-	+	+	-	+
7	-	+	-	+	-	+
8	-	+	+	-	+	-

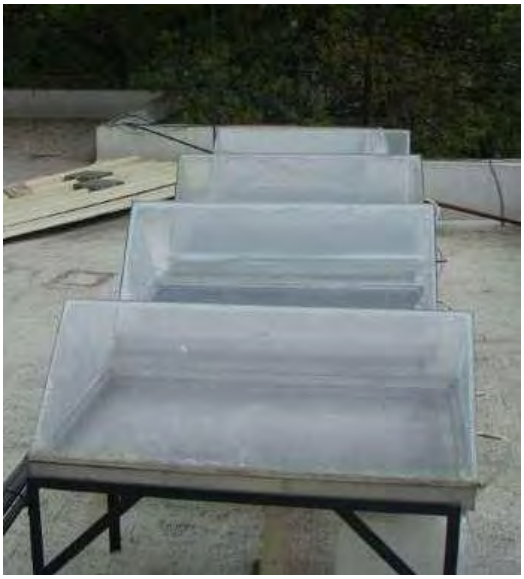


Fig.1 Destiladores solares para la experimentación.

La cubierta para el caso de los experimentos en "limpio", se limpiaba diariamente con agua y jabón, para el caso "sucio" se dejaba depositar el polvo por lo menos durante tres días. Para observar el efecto del viento se colocó un ventilador sobre los equipos correspondientes, el cual se colocaba siempre a la misma distancia y en la potencia más baja. El tensoactivo seleccionado, fue el *Tween 20* que es no-iónico y con muy poca cantidad presenta una actividad muy importante, se aplicó solamente en la parte interior de los vidrios y se verificaba que el agua escurriera sin problemas en los experimentos que se hicieron con esta variable. Como superficie selectiva se seleccionó un geotextil de polietil tereftalato (PET) con fibra de 0.1 mm no tejida, esto presenta una superficie muy elevada de evaporación y se fabrica en color negro.

Para la experimentación:

Determinar la conductividad, pH y sólidos disueltos en agua de alimentación.
Alimentar el destilador
Medir la cantidad de agua recolectada por unidad de tiempo (l/día).
Determinar los parámetros fisicoquímicos del agua destilada.
Análisis de datos.

Resultados experimentales

La Tabla 2, muestra los resultados resumidos de la experimentación. La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos de la producción media y la desviación típica, de acuerdo a los datos contenidos

De las variables que se tomaron en consideración, se puede ver que existen tres variables que se pueden considerar las más importantes por orden de importancia:

1. Cuenta mucho que el equipo esté aislado.
2. Instalar un sistema eficiente para captar la energía proveniente del sol (una superficie selectiva).
3. El uso de un tensoactivo en la superficie del vidrio.

El que se tenga buenas condiciones de viento no beneficia de manera tan importante. Las variables como el mantener limpio el vidrio o un espejo de agua poco profundo, no afecta mayormente al sistema, apenas lo beneficia (el valor negativo indica que a mayor profundidad del espejo de agua menos rendimiento tendremos (fenómeno que era de esperarse), de la misma manera, entre más sucio esté el vidrio tendremos un menor rendimiento.

Tabla 2. Datos experimentales. Cantidad de agua destilada por día.

No. Exp.	Fecha de Medición	Cantidad de agua destilada [ml]
1	03-dic-09	245
	04-dic-09	235
	05-dic-09	330
	06-dic-09	345
	08-dic-09	360
	09-dic-09	315
	10-dic-09	470
2	03-dic-09	720
	04-dic-09	550
	05-dic-09	680
	06-dic-09	800
	08-dic-09	675
	09-dic-09	550
	10-dic-09	770
3	03-dic-09	350
	04-dic-09	0
	05-dic-09	280
	06-dic-09	380
	08-dic-09	0
	09-dic-09	285
	10-dic-09	475
4	03-dic-09	1260
	04-dic-09	1000
	05-dic-09	950
	06-dic-09	1160
	08-dic-09	1000
	09-dic-09	838
	10-dic-09	1000

No. Exp.	Fecha de Medición	Cantidad de agua destilada [ml]
5	15-dic-09	785
	16-dic-09	1010
	17-dic-09	335
	18-dic-09	520
	19-dic-09	350
	20-dic-09	0
	21-dic-09	0
6	15-dic-09	700
	16-dic-09	965
	17-dic-09	345
	18-dic-09	660
	19-dic-09	435
	20-dic-09	0
	21-dic-09	0
7	15-dic-09	0
	16-dic-09	375
	17-dic-09	120
	18-dic-09	320
	19-dic-09	215
	20-dic-09	0
	21-dic-09	0
8	15-dic-09	0
	16-dic-09	280
	17-dic-09	95
	18-dic-09	350
	19-dic-09	217
	20-dic-09	0
	21-dic-09	0

Tabla 3. Desviación típica de los resultados experimentales.

No. Experimento	Media	S	E	A	L	V	T	Producción (media)	Desviación típica
1	+	-	-	-	-	+	-	337.5	19.36
2	+	+	-	-	+	+	+	711.25	44.04
3	+	+	+	-	+	-	-	371.25	80.87
4	+	+	+	+	-	+	+	987	133.75
5	+	+	-	+	-	-	-	497.5	209.22
6	+	-	-	+	+	-	+	535	172.19
7	+	-	+	-	+		+	257.5	113.17
8	+	-	+	+	-		-	235.5	108.25
Divisor	8	4	4	4	4		4		

De acuerdo con este método de Daniel, todos los efectos y sus interacciones son consecuencia de "ruido" estadístico motivado por causas aleatorias (por tanto, sin ninguna trascendencia). Este método se basa en la hipótesis inicial que considera que los módulos de todos los efectos de los factores y sus interacciones siguen una distribución normal.

Bajo la hipótesis inicial, si se representan los valores de los efectos y de las interacciones en un papel probabilístico normal se debe obtener una recta. Por lo tanto, cualquier valor que no pertenezca a esta recta dentro de un margen de error se puede considerar que el factor o la interacción no es un resultado aleatorio, sino se trata de un valor significativo.

Resumiendo, este método se desarrolla en tres etapas:

1. Cálculo de los módulos de los efectos y de las interacciones.
2. Ordenar los módulos en orden creciente y asignarles el correspondiente valor de *i*.
3. Determinar los valores de la recta.

Este método permite visualizar la relevancia de los efectos de un modo muy efectivo; cuando el número de factores es elevado, este método puede ser una manera de descartar elementos no significativos, y de esta forma proporcionar una orientación eficaz a nuestro objetivo.

Con el fin de distinguir las variables más importantes de las que se pueden ubicar dentro del "ruido" aplicamos el método de Daniel para obtener una distribución normal de estas variables (Fig. 2).

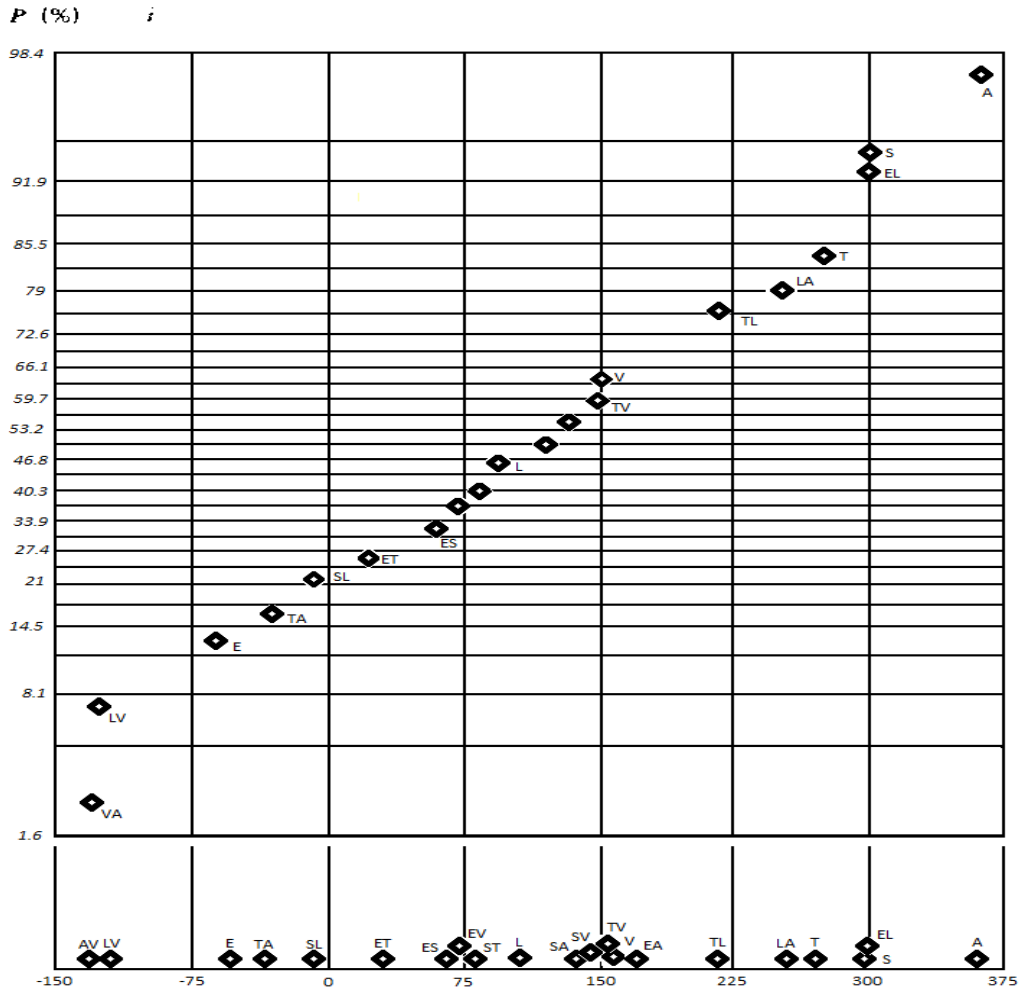


Fig. 2. Gráfica de distribución normal de las variables y sus interacciones.

En la Fig. 2 se puede notar que ninguno de los factores o sus interacciones se distinguen mucho del ruido, si acaso, se encuentran ligeramente fuera los factores A, E, S y T y las interacciones EL, LA, TA, LV, y VA. Con lo que la ecuación que podría representar al sistema, sin perder mucha información es:

Producción (ml) = 491.563 – (57.5)E + (300.38)S + (226.25)T + (300)A + (298.9375)EL – (8.75)SL + 8243.9375)LA – (121.5625)VA.

Conclusiones

La ecuación que se obtuvo representa adecuadamente el fenómeno de la destilación, el único efecto que dio negativo es el espejo de agua que se mantiene en el destilador. Esto indica que es conveniente tener espejos de agua bajos pues de esta manera se favorece la producción. A pesar de lo anterior, el coeficiente de esta variable nos indica que es la menos importante de las estudiadas. La variable más importante que se estudió en este proyecto es el aislante, que es casi tan importante como tener una superficie selectiva. Con respecto a las interacciones, el efecto más importante que se tiene es la combinación del espejo con la limpieza (EL), variables que de manera aislada no juegan un papel tan importante como lo son combinadas, las otras dos combinaciones importantes son tensoactivo-limpieza (TL) y limpieza-aislante (LA). De este estudio se ve la importancia de mantener limpio el destilador pues de lo contrario, esta variable tiene una influencia combinada que no se puede despreciar.

Las interacciones que afectan la producción de manera negativa, es decir, que la disminuyen, son limpieza-viento (LV) y viento-aislante (VA), muy sorpresivamente nos damos cuenta que el viento tiene una influencia negativa sobre la producción. La lógica nos dice que si tenemos viento debe haber mejor condensación y por lo mismo, mayor producción; pero el enfriamiento que sufre el destilador por el viento le hace perder más producción de destilado que lo que se podría esperar por la condensación, en esta parte es muy recomendable aislar el destilador cuando se tenga viento.

El papel que juega el tensoactivo no es muy importante, sin embargo, de acuerdo a los resultados, no es conveniente no aplicarlo.

La medición del pH, sales y conductividad en el agua destilada no presentaron variaciones importantes, por lo que no se consideraron como una respuesta importante. El pH se mantuvo siempre cercano a 6.9 (± 0.1) y la conductividad se encontraba cercana a 100 μS y las sales 150 ppm. (± 10).

Por otro lado considero importante mencionar que la aportación que la energía solar, su difusión, promoción y aplicación, puede hacer con respecto a la problemática del agotamiento de recursos naturales y deterioro ambiental permanente (derivados de una actitud consumista), es de carácter incalculable. Las razones son:

- Ausencia de gasto de los recursos energéticos naturales.
- Cambio de los hábitos de consumo derivados de la forma de obtención energética, puesto que la misma presencia de instalaciones solares y/o diseños bioclimáticos en edificación, supone ya un factor de sensibilización acerca de la situación actual.
- Establecer pasos para garantizar un desarrollo sustentable.

Referencias

[1] Hermosillo, Juan Jorge. Destilación Solar. Cuaderno Huella #16, ITESO.
[2] Department of Environmental Health. Faculty of Health Science. American University of Beirut Líbano. UNICEF. 1984
[3] Blanco., J., S. Malato., G. García, J. Aranda, M. Sánchez., F. Sicilia, M.I. Román. *Final configuration of PSA solar detoxification loop*. Plataforma Solar de Almería, CIEMAT, Universidad de Granada, Univ. Politécnica de Madrid. Reporte Técnico TR 06/91.
[4] Murray F. On computation of Saturation Vapour Pressure. J Appl Meteorol 1967;16:203–4

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 13. Volumen 4(1), 7 páginas

INSTRUMENTACION DE UNA TRANSMISION INFINITAMENTE VARIABLE

Cuauhtémoc Morales-Cruz[1], Rosaura Anaid Suárez-Santillán[1], Paul Octavio Gómez-Castro[1], Andrés Felipe Sánchez-Cristo[1], Edgar Alfredo Portilla-Flores[1]

Resumen

En la actualidad el trabajo realizado por muchas aéreas de investigación está orientado a la creación y desarrollo de sistemas que protejan el medio ambiente. Es por eso que hay una necesidad de diseñar mejores sistemas electromecánicos con un bajo impacto ambiental. Una Transmisión Infinitamente Variable es un sistema mecánico, el cual es propuesto para optimizar la transmisión de potencia entre dos ejes. Los aspectos que se toman en cuenta para el diseño de estos sistemas son mecánicos y de control. Un inconveniente que se presenta con frecuencia en el área del control es la complejidad del sistema de instrumentación. En este trabajo se presenta la instrumentación que se realizó para el mecanismo de transmisión infinitamente variable y se mide la velocidad de entrada y de salida, para poder analizar el comportamiento de todo el sistema. El sistema de adquisición de datos se desarrolló usando una tarjeta multifuncional de entrada-salida y la información generada es almacenada en un archivo de texto, para el análisis fuera de línea. Se presentan los resultados experimentales comparados contra la simulación del modelo del mecanismo, así como el diagrama a bloques de la estructura del programa de adquisición.

Palabras clave: Transmisión de Variación Continua, Instrumentación, Transmisión Infinitamente Variable.

(Summary)

Nowadays the work of many research areas is oriented about creation and development of systems that protect the environment. That's why there is a need to design better electromechanical systems with low environmental impact. An Infinitely Variable Transmission is a mechanical system, which is proposed to optimize the transmission power between two axes. The aspects taken into account in the design of these systems are mechanical and of control. In the control area a problem that frequently arises is the complexity of the instrumentation system. In this paper the instrumentation performed for the Infinitely Variable Transmission Mechanism is presented. The input and output velocities are measured, in order to analyze the behavior of the whole system. The data acquisition system was developed using a multifunctional input-output card and the generated information is stored in a text file, for possible further offline analysis. The experimental results are presented and compared against the mechanism simulation model, besides that block diagram of the acquisition program structure is shown.

Keywords: Continuously Variable Transmission, Instrumentation, Infinitely Variable Transmission.

Introducción

Se llama transmisión mecánica al mecanismo encargado de transferir la potencia de un motor a otro dispositivo, con el objetivo de moverlo parcial o totalmente en base a un determinado número de selecciones de relaciones de transmisión para su funcionamiento [1]. En la actualidad existe una gran variedad de tipos de transmisiones de potencia, se les encuentra en diversas ramas de la industria, desde la automotriz y petrolera hasta la médica y agricultura por mencionar algunas.

Uno de los tipos de transmisiones que se han desarrollado con amplio interés es la Transmisión de Variación Continua (TVC o CVT por sus siglas en ingles).

[1] CIDETEC-IPN. Departamento de Posgrado, Área de Mecatrónica, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Av. Juan de Dios Bátiz s/n, Esq. Miguel Othón de Mendizábal, Col. Nueva Industrial Vallejo, C.P. 07700. E-mail: cmoralesc0600@ipn.mx

Una TVC tiene la característica de variar la relación de transmisión continuamente a través de un número infinito de relaciones positivas de transmisión efectiva entre los valores máximos y mínimos posibles para el mecanismo en cuestión y la manera de realizar dicha variación dependerá del tipo de TVC, por ejemplo: las TVC por fricción [2], varían el radio del punto de contacto entre dos objetos en rotación, las TVC hidrostáticas [3], varían el flujo de fluidos con una bomba de caudal variable en motores hidrostáticos, por mencionar algunas.

Las TVC permiten al eje de entrada tener una velocidad angular constante y un rango de velocidades de salida, permitiendo que el motor funcione dentro de su rango eficiente la mayor parte del tiempo, durante su funcionamiento, sea cual sea la velocidad del mismo. En el caso de la industria automotriz, este beneficio se observa en una reducción en el consumo de combustible, de emisiones de gases de tipo invernadero y en un mejor rendimiento del automóvil [4].

Por otro lado, una Transmisión Infinitamente Variable (TIV o IVT por sus siglas en ingles), conserva cada uno de los beneficios de la TVC agregando al menos la relación de transmisión igual a cero en su configuración más simple. Se denomina Infinitamente Variable por el hecho de poder proporcionar relaciones positivas y negativas pasando por el cero, y si al menos cumple con esta última es relativamente sencillo invertir la dirección [5].

En la Fig. 1 se aprecian las diferencias y alcances de las TIV con respecto a las TVC y transmisiones manuales.

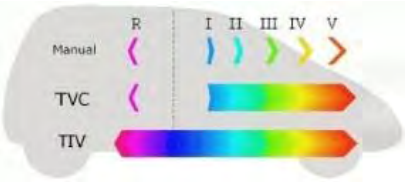


Fig. 1. Las TIV vs TVC y Manual.

Poco es lo que se puede llevar cabo en relación al diseño mecánico de las TVC, sin embargo el campo relacionado con la instrumentación y el control de las mismas presenta un gran reto tecnológico para la adecuada aplicación de este tipo de mecanismos en aplicaciones industriales. Por lo que se deben llevar a cabo trabajos en dichas áreas que permitan una rápida implementación de las TVC en el conjunto de mecanismos de uso común para la implementación de grandes sistemas mecánicos.

El presente trabajo presenta la instrumentación de un mecanismo de una TIV así como el sistema de adquisición de datos. Dichos trabajos son parte del estudio funcional cinemático y dinámico de la TIV en cuestión.

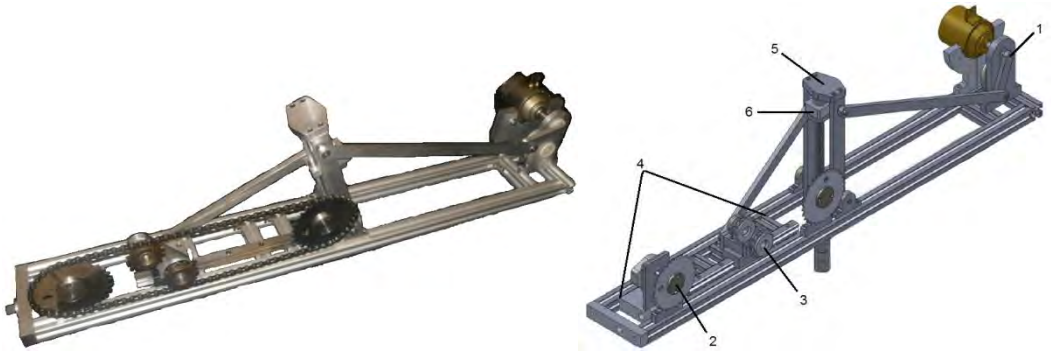
Descripción del mecanismo

El sistema de TIV expuesto en este trabajo, convierte el movimiento rotacional en su eje de entrada para hacer girar unidireccionalmente un elemento mecánico denominado "catarina" el cual se encuentra acoplado a su eje de salida. Con el fin de lograr dicha acción mecánica, un mecanismo de cuatro barras [6], es acoplado a la entrada del sistema. Dicho mecanismo de cuatro barras impulsará en forma proporcional a un segundo mecanismo, el cual es un manivela-biela-corredera. El movimiento bidireccional propio de la corredera, es rectificado por la acción de un par de catarinas integradas con trinquetes, los cuales proporcionan un tiro y empuje alternado, generando la rotación en un único sentido en el eje de salida. Por otro lado, la interacción de ambos mecanismos, puede ser cambiada por medio de un tornillo sinfín, que se hace girar hasta alcanzar la relación de transmisión deseada. Este mecanismo permite realizar el cambio de relación de transmisión de manera gradual y continua. Una imagen del sistema descrito puede ser apreciada en la Fig. 2.

En cualquier tipo de transmisión mecánica, el principio de funcionamiento es la conducción de energía entre el eje de entrada y el eje de salida. Por esta razón, en el presente trabajo las variables de interés son la velocidad de entrada y la de salida y son éstas las que serán medidas, para así poder monitorear el comportamiento del sistema completo.

Análisis cinemático

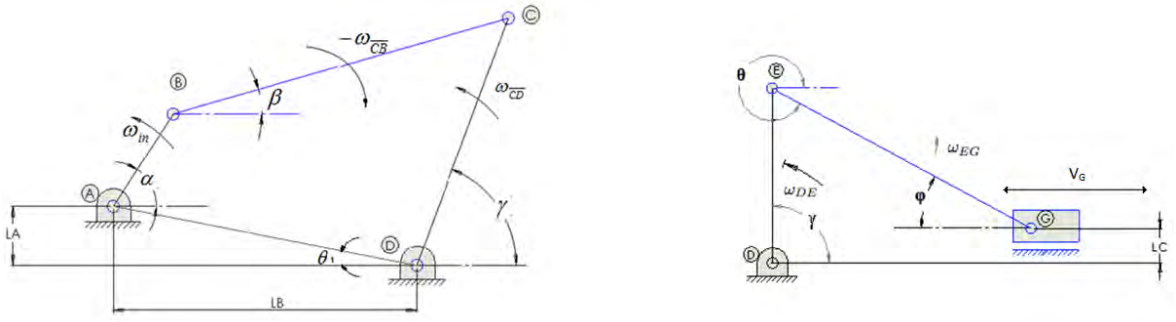
La Transmisión Infinitamente Variable de tipo manivela-corredera, puede ser analizada por descomposición de dos mecanismos sencillos, el primero es un mecanismo de cuatro barras en la configuración de manivela-biela-balancín (Fig. 3.a) y el segundo como uno de manivela-biela-corredera (Fig. 3.b).



a) TIV fabricado *b) CAD*

1) Eje de entrada. 2) Eje de salida. 3) Trinquetes. 4) Corredera. 5) Balancín. 6) Variador.

Fig. 2. Descripción del sistema de la TIV.



a) Mecanismo de cuatro barras *b) Mecanismo de biela corredera*

Fig. 3. Descripción de los mecanismos de la TIV.

Análisis de velocidad

En el primer mecanismo, la entrada rotacional del motor se encuentra acoplada al eje **A** y la salida de movimiento es acoplada al balancín **CD**. Como los puntos **B** y **C** se encuentran mecánicamente restringidos, el movimiento de estos puntos es puramente circular, como queda mostrado en la Fig. 3b.

Y tomando en cuenta que el balancín es libre de girar sobre el eje **D**, la velocidad en **C** puede ser calculada con (1) y (2):

$$\vec{V}_C = \vec{V}_D + \vec{V}_{C/D} \tag{1}$$

$$\vec{V}_C = \vec{V}_B + \vec{V}_{C/B} \tag{2}$$

donde $\vec{V}_C$ es la velocidad del punto **C**, $\vec{V}_D$ es la velocidad del punto **D**, $\vec{V}_{C/D}$ es la velocidad relativa en el punto **C** respecto del punto **D**, $\vec{V}_B$ es la velocidad del punto **B** y finalmente $\vec{V}_{C/B}$ es la velocidad relativa en el punto **C** respecto del punto **B.**

El movimiento de la biela se encuentra dentro del plano del mecanismo y como ésta es un elemento rígido, debe satisfacer la cinemática del cuerpo rígido [7].

Es claro que si la manivela se mueve, entonces el punto **C** también se moverá como se describe en (3).

$$\vec{V}_{C/D} = \omega_{\overline{CD}}\hat{k} \times \vec{\rho}_{\overline{CD}} \tag{3}$$

donde el vector $\vec{\rho}_{\overline{CD}}$ se define como sigue:

$$\vec{\rho}_{\overline{CD}} = \overline{CD} * (\cos(\gamma)\,\hat{\imath} + \sin(\gamma)\hat{\jmath}) \tag{4}$$

Usando (3) y (4), la ecuación (1) puede ser escrita como sigue:

$$\vec{V}_C = \omega_{\overline{CD}} * \overline{CD} * \cos(\gamma)\,\hat{\jmath} - \omega_{\overline{CD}} * \overline{CD} * \sin(\gamma)\,\hat{\imath} \tag{5}$$

Por otro lado, debido a que el balancín también cumple con la cinemática descrita en [7], (2) se puede reescribir como sigue:

$$\vec{V}_C = \omega_{in}\hat{k} \times \vec{\rho}_{\overline{AB}} + (-\omega_{\overline{CB}})\hat{k} \times \vec{\rho}_{\overline{CB}} \tag{6}$$

donde $\vec{\rho}_{\overline{AB}}$ y $\vec{\rho}_{\overline{CB}}$ se definen a continuación:

$$\vec{\rho}_{\overline{AB}} = \overline{AB} * (\cos(\alpha)\,\hat{\imath} + \sin(\alpha)\hat{\jmath}) \tag{7}$$

$$\vec{\rho}_{\overline{CB}} = \overline{CB} * (\cos(\beta)\,\hat{\imath} + \sin(\beta)\hat{\jmath}) \tag{8}$$

Sustituyendo (7) y (8), en la ecuación (6) e igualando con (5) se obtendrá el siguiente sistema de ecuaciones:

$$-\omega_{\overline{CD}} * \overline{CD} * \sin(\gamma) = \omega_{\overline{CB}} * \overline{CB} * \sin(\beta) - \omega_{in} * \overline{AB} * \sin(\alpha) \tag{9}$$

$$\omega_{\overline{CD}} * \overline{CD} * \cos(\gamma) = \omega_{in} * \overline{AB} * \cos(\alpha) - \omega_{\overline{CB}} * \overline{CB} * \cos(\beta) \tag{10}$$

Resolviendo (9) y (10) simultáneamente para encontrar ω_{CD} que es la velocidad angular del balancín, obteniendo:

$$\omega_{\overline{CD}} = \frac{\omega_{in} * \overline{AB} * \cos(\alpha) * \tan(\beta) - \omega_{in} * \overline{AB} * \sin(\alpha)}{\overline{CD} * \cos(\gamma) * \tan(\beta) - \overline{CD} * \sin(\gamma)} \tag{11}$$

Siguiendo con el análisis cinemático pero ahora en la configuración de manivela-biela-corredera, la cual se muestra en la Fig. 3b, se tiene que la entrada de movimiento es proporcionada por el balancín, y este es transmitido hacia la corredera. Lo anterior queda descrito en la siguiente ecuación:

$$\vec{V}_G = \vec{V}_G + \vec{V}_{G/E} \tag{12}$$

donde $\vec{V}_G$ es la velocidad en el punto G (corredera), $\vec{V}_E$ es la velocidad en el punto E y $\vec{V}_{G/E}$ es la velocidad relativa del punto G respecto del punto E.

Usando de nuevo la cinemática descrita en [4], (12) puede ser escrita como sigue:

$$\vec{V}_G = \omega_{\overline{DE}}\hat{k} \times \vec{\rho}_{\overline{DE}} + \omega_{\overline{EG}}\hat{k} \times \vec{\rho}_{\overline{EG}} \tag{13}$$

Por otro lado, los vectores $\vec{\rho}_{\overline{DE}}$ y $\vec{\rho}_{\overline{EG}}$ son definidos de la siguiente manera:

$$\vec{\rho}_{\overline{DE}} = \overline{DE} * (\cos(\gamma)\,\hat{\imath} + \sin(\gamma)\hat{\jmath}) \tag{14}$$

$$\vec{\rho}_{\overline{EG}} = \overline{EG} * (\cos(\theta)\,\hat{\imath} + \sin(\theta)\hat{\jmath}) \tag{15}$$

Usando (14) y (15) en (13) se obtiene la velocidad lineal de la corredera (16):

$$\begin{aligned}\vec{V}_G = {} & \left[-\omega_{\overline{EG}} * \overline{EG} * \sin(\theta) - \omega_{\overline{DE}} * \overline{DE} * \sin(\gamma)\hat{\imath}\right] \\ & + \left[-\omega_{\overline{DE}} * \overline{DE} * \cos(\gamma) + \omega_{\overline{EG}} * \overline{EG} * \cos(\theta)\hat{\jmath}\right]\end{aligned} \tag{16}$$

Dado que, la corredera está restringida a moverse solo horizontalmente y la componente vertical debe ser cero en (16), la magnitud de $\omega_{\overline{EG}}$ puede ser calculada. Se tiene que para la componente en $\hat{j}$:

$$\omega_{\overline{DE}} * \overline{DE} * \cos(\gamma) + \omega_{\overline{EG}} * \overline{EG} * \cos(\theta) = 0 \tag{17}$$

Usando (17) en la componente diferente de cero de (16), se obtiene (18):

$$\vec{V}_G = \left[-\omega_{\overline{EG}} * \overline{EG} * \sin(\theta) - \omega_{DE} * \overline{DE} * \sin(\gamma)\hat{\imath}\right] \tag{18}$$

Finalmente para concluir con el análisis cinemático de velocidades, se obtiene la salida angular del sistema. Esta puede ser calculada tomando en cuenta que la velocidad de la corredera es la misma, en magnitud, que la velocidad tangencial del engrane de salida, por lo tanto:

$$\omega_{sal} = \left\| \frac{\vec{V}_G}{r} \right\| \tag{19}$$

donde **r** es el radio del engrane de salida.

Adquisición de datos

Como se ha mencionado previamente, en cualquier tipo de transmisión mecánica, las variables de interés son la velocidad de entrada y la de salida, para así poder monitorear el comportamiento del sistema completo.

Sensores

Se utilizaron sensores ópticos debido a las ventajas mecánicas y eléctricas que proporcionan. Este tipo de sensores no requiere de una decodificación compleja de la señal. La información que proporcionan está compuesta por dos trenes de pulsos cuadrados, los cuales se encuentran desfasados 90 grados. La dirección de rotación es determinada por el desfasamiento entre los trenes de pulsos y la velocidad puede ser medida indirectamente al contar los pulsos que se presentan en un tiempo también medido.

Para determinar el desplazamiento angular en los ejes de interés se utiliza (20) para interpretar la información contenida en los registros de la tarjeta de adquisición de datos.

$$\Delta\theta = \frac{2\pi}{n}\,(\Delta Nc) \tag{20}$$

donde $\boldsymbol{\Delta\theta}$ es el desplazamiento angular en radianes [rad], $\boldsymbol{Nc}$ es el valor en el contador del registro y $\boldsymbol{n}$ es el número de cada flanco proporcionado por el sensor, sin importar si es ascendente o descendente. Específicamente para el sensor que se ocupó $\boldsymbol{n}$=2048*4.

Por otro lado, el tiempo es medido con otro contador configurado como temporizador. El tiempo en los registros es representado en microsegundos y (21) es usada para interpretar la información de los registros en las unidades deseadas.

$$\Delta t = (1 \times 10^{-6}) * \Delta Nt \tag{21}$$

donde $\boldsymbol{\Delta t}$ es el tiempo en segundos [s] y $\boldsymbol{Nt}$ es el valor del registro.

Estructura del programa de adquisición

El programa principal fue desarrollado en ***C++*** y contiene la configuración de la tarjeta de adquisición así como el algoritmo de la adquisición de datos.

Como primer paso en el proceso, se realiza la inicialización del dispositivo. Después de esto, la información es obtenida con un muestreo en un rango de 60 muestras por segundo y guardadas en un archivo.

Los datos son obtenidos siguiendo la secuencia del algoritmo mostrado en la Fig. 4 para cada medición. Es importante mencionar que la primera operación debe ser ignorada puesto que no hay valores en las variables.

1	Inicio:
2	Lee la posición angular actual *Nθ=valor del registro.*
3	Cálculo de velocidad. $\omega = c \times \frac{N\theta - 0\theta}{\Delta t}$
4	Tiempo de espera para la siguiente muestra.
5	Actualiza variables. θ actual se convierte en θ antigua (*Oθ=Nθ)*
6	Mientras el tiempo de adquisición sea menor que el tiempo seleccionado para el experimento.

Fig. 4. Algoritmo para el cálculo de la velocidad.

Cuando el tiempo de adquisición se cumple, el programa escribe las líneas de código necesarias para generar la interfaz gráfica que muestra como resultado de la adquisición, las gráficas de las velocidades de entrada y de salida del sistema. En las siguientes líneas se describe parte del programa con el fin de mostrar la lógica utilizada.

La función *ofstream GUARDA("encoder.m")* es usada para abrir/crear el archivo donde se almacenarán los datos.

El código mostrado en la Fig. 5 escribe parte del "script" en el lenguaje de Matlab. En esta figura es fácil entender como el primer programa escribe el nuevo programa. El programa escrito en C++ escribe la información en un archivo con extensión ".m", el cual puede ser leído por Matlab para visualizar y manipular la información obtenida. El funcionamiento general del programa se muestra en la Fig. 6.

```
GUARDA << "];
GUARDA << ";\n";
GUARDA << "figure (1);\n";
GUARDA << "subplot (2,1,1);\n";
```

Fig. 5. Código en C++ que genera el script del archivo.m

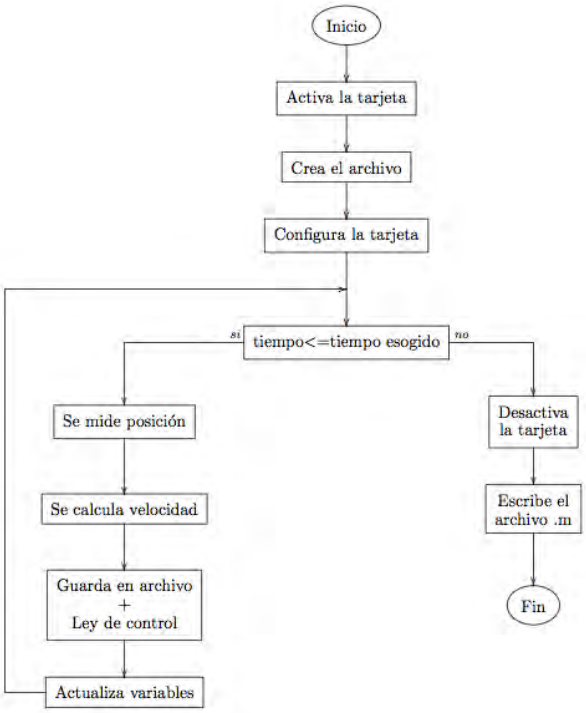


Fig. 6. Diagrama de flujo del sistema de adquisición.

Interfaz

La interfaz con el programa, el cual fue escrito en C++ es mostrada en la Fig. 7. Con esto, el usuario determina el tiempo total del experimento así como de la adquisición de datos que se hará. Una vez completado el proceso la información es almacenada y notifica cuando ha concluido.

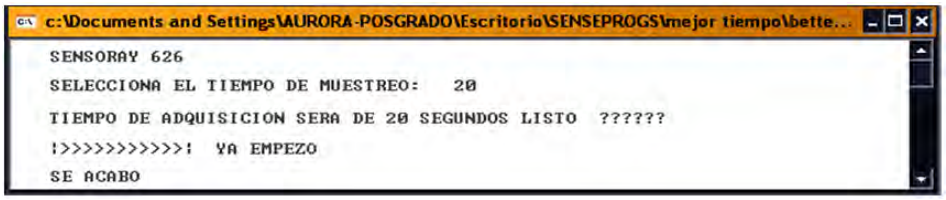


Fig. 7. Interfaz para el usuario

Resultados

Los experimentos llevados a cabo en el presente trabajo consistieron en realizar un "barrido" de las relaciones de transmisión par la TIV, es decir, se hizo variar la relación de transmisión al variar la magnitud del eslabón $\overline{DE}$ por medio del tornillo sinfín. La magnitud de $\overline{DE}$ cambio continuamente en el intervalo [0,150] mm, y el tiempo de simulación y adquisición fueron de 27 s. En la Fig. 8 se muestra el resultado de la adquisición de datos implementada en este trabajo.

Los parámetros del sistema, los cuales también fueron usados en la simulación se encuentran en (22).

$$\text{P}=[\overline{AD} \quad \overline{AB} \quad \overline{BC} \quad \overline{CD} \quad \theta_1 \quad \overline{DE} \quad \overline{EG}\,]^T = [468.7 \quad 76 \quad 469.2 \quad 200.2 \quad -0.1966 \quad \overline{DE} \quad 400]^T \text{ mm} \qquad (22)$$

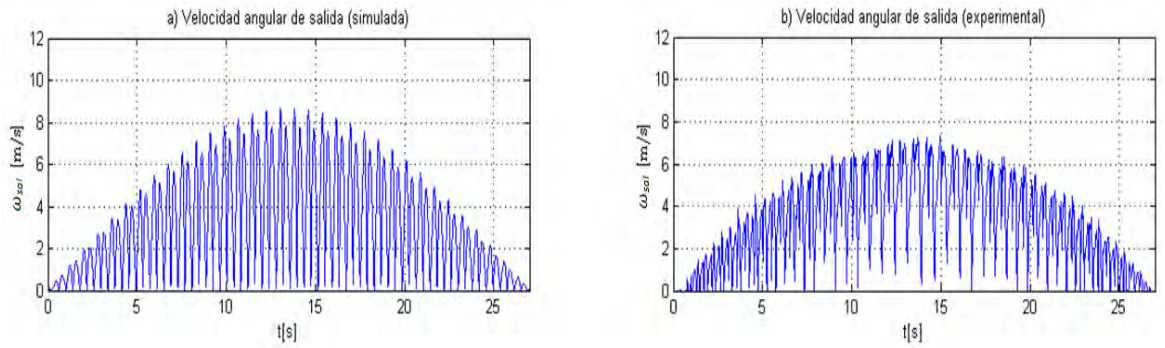


Fig.9. Resultados de la Adquisición.

Como se puede observar en la Fig. 9, se observan vibraciones en la señal de salida del sistema, esto puede ser debido al fenómeno de enganche y desenganche de las catarinas con los trinquetes. Por otra parte también se observa que en el intervalo [10,15]s la velocidad de salida no alcanza el cero como lo hace el modelo simulado, esta perturbación es el resultado de la inercia de los elementos mecánicos del sistema, la cual no fue considerada en el modelado.

Conclusión

En este trabajo se presentó la instrumentación de un mecanismo de Transmisión Infinitamente Variable y el funcionamiento de los programas utilizados para mostrar los resultados que describen al sistema. Así mismo se llevó a cabo el modelado cinemático de dicha transmisión para poder llevar a cabo la comparación de los resultados experimentales contra el comportamiento teórico esperado. Como se puede apreciar en los resultados, la instrumentación y el sistema de adquisición de datos se comportan satisfactoriamente. Trabajos posteriores son encaminados a proponer un modelo dinámico así como un control para la TVI, donde el sistema desarrollado en el presente trabajo sea parte fundamental en el desarrollo experimental.

Reconocimientos

Los autores agradecen el apoyo a la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional a través del proyecto SIP-20111027.

Referencias

[1] Brian S. Andersen. An investigation of a positive engagement. Continuously Variable Transmission Department of Mechanical Engineering, Brigham Young University, 2007.

[2] Wagner J., Dawson-D., Samuels B., Setlur, P. *No linear control of a continuously variable transmission (CVT).*Transactions on Control Systems Technology, IEEE, 2003.

[3] David Rodolfo Esquivel Tapia. *Diseño mecánico de una transmisión cvt media toroidal.* México, D.F., ESIME-Azcapotzalco-IPN. 2008

[4] De Silva C.W, Schultz M., and Dolejsi E., "Kinematic Analysis and Design of a Continuously Variable Transmission", *Mech. Mach. Theory*, Vol. 29(1), Enero, 1994, pp.149-167.

[5] Guisasola, I. Junio 13, 2011. *http://www.tecnun.es/automocion/proyectos/Transmision_continua/InigoProyectoCVT.pdf*

[6] Cuauhtémoc Morales-Cruz, Rosaura A. Suárez-Santillán, Izumi E. Chikamtsu-Nieto, Edgar A. Portilla-Flores, Miguel G. Villarreal-Cervantes, Alejandro Escamilla-Navarro. *Selección del mecanismo de entrada para una Transmisión de Variación Continua tipo Manivela-corredera.* I Congreso Internacional de Ingeniería, Electrónica y Computación. Minatitlán, Veracruz, México. 2011.

[7] Shames, Irving H., *Mecánica para ingenieros: Dinámica*, 4° Edición, 1998, Prentice Hall Iberia, Sistema Internacional. pp. 648.

EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 16. Volumen 4(1), 7 páginas.

CARACTERIZACIÓN Y FLUJO DE INFORMACIÓN ENTRE ESTACIONES DE UN SISTEMA FLEXIBLE DE MANUFACTURA

Angel Miguel González Medina[1], Ollin Peñaloza Mejía, Alma Delia Rodríguez Muñoz, Jesús González Lemus

Resumen

Una parte importante para lograr la integración de un Sistema Flexible de Manufactura se debe al flujo de información que hay entre cada una de las estaciones que lo componen. En el presente trabajo se realiza la caracterización del Sistema Flexible de Manufactura que se encuentra en las instalaciones del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec para establecer un flujo de comunicación utilizando como medio de comunicación una red PROFIBUS. El desarrollo de este trabajo, permitirá realizar en subsecuentes investigaciones el modelado matemático del sistema por lo que es importante caracterizarlo en detalle y establecer la comunicación entre cada uno de los elementos o estaciones del mismo.
Palabras clave: integración, PROFIBUS, sistema.

Abstract

An important part of achieving the integration of a Flexible Manufacturing System is due to the flow of information between each of the stations that compose it. In the present paper is to characterize the Flexible Manufacturing System of the Tecnologico de Estudios Superiores de Ecatepec to establish a flow of communication media used as a PROFIBUS network. The development of this work will allow for subsequent research in the mathematical modeling of the system it is important to characterize in detail and establish communication between each of the elements or work stations.
Keywords: Integration, PROFIBUS, System.

Introducción

Los SFM, son células de máquinas altamente automatizadas, que consisten en un grupo de estaciones de trabajo para procesar información (normalmente, máquinas de Control Numérico Computarizado, CNC) interconectadas por un sistema automatizado de almacenamiento y manejo de materiales, y controlado por una computadora [1]. En general no existe una metodología que indique cómo realizar la integración de estos sistemas debido a que las características de los lenguajes de programación son diferentes para cada equipo que compone al sistema, aunado a que los programas desarrollados para realizar la integración se desarrollan de acuerdo a la capacidad del programador, son pocas las investigaciones que se tienen reportadas [3]. En consecuencia, en este trabajo se presenta alguna idea para realizar la integración de los distintos equipos en un SFM.

El SFM que se desea integrar está constituido por las siguientes estaciones: una máquina CNC, un robot antropomórfico de 6 GDL, un robot de tipo SCARA de 4 GDL, un robot cartesiano de 3 GDL, un conveyor y una cámara digital. Cada uno de estos elementos tiene sus propios controladores, sistemas operativos y lenguajes de programación, los cuales se desean integrar, por lo que, primeramente, es necesario establecer el tipo de comunicación y el flujo de información que se debe de llevar a cabo. Debido al equipo de la marca SIEMENS que se tiene para llevar a cabo la integración, la comunicación se realizará utilizando redes PROFIBUS.

[1] TESE. E-mails: angelo1397@hotmail.com, openaloza@tese.edu.mx, almiuxrm@yahoo.com.mx, jlemus@tese.edu.mx

Objetivo

Establecer el flujo de información del Sistema Flexible de Manufactura caracterizando cada una de las estaciones de trabajo que lo componen.

Descripción del SFM

En el Laboratorio de Manufactura Integrada por Computadora del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE), se encuentra instalado un Sistema Flexible de Manufactura (SFM). Actualmente, cada una de las estaciones y las partes que componen al sistema están integradas con una programación basada en sucesos y eventos, interconectados a través de una tecnología llamada *punto a punto*, esto hace que el sistema sea lento debido a la toma de decisiones computacionales que se tienen que programar para realizar alguna tarea de manufactura en un momento dado. La Fig. 1 muestra una foto del SFM y en la Fig. 2 se tiene un diagrama con vista de planta donde se muestran las diferentes estaciones de trabajo, que son: estación 1 (Almacén), estación 2 (Manufactura, CNC), estación 3 (Calidad) y estación 4 (Ensamble).

El proceso de producción comienza cuando un operador inicia un proceso de producción en la estación 1, dedicada a colocar materia prima en el Vehículo Guiado Automáticamente (VGA) para la elaboración de un producto en particular, el VGA transporta la materia a la segunda estación y será procesada según el tipo de producción que se vaya a realizar, cuando el proceso haya concluido, la pieza producida será enviada a la tercera estación para realizar la inspección de calidad de la misma, en la cuarta estación se podrá realizar un ensamble o empaquetar el producto terminado, concluyendo así el proceso de producción.

Algunas consideraciones que se deben tomar para integrar un SFM

A nivel industria el grado de flexibilidad se puede interpretar como un indicador integral de la confiabilidad del desempeño de todo el sistema de manufactura [5]. De manera complementaria, se retoman planteamientos sobre flexibilidad por parte de Benjamín Coriat [6], en donde, la ventaja dinámica de las tecnologías flexibles aparece con mucha fuerza en virtud de su capacidad de adaptarse a las exigencias requeridas por el ciclo de vida del producto y también en virtud de la experiencia, debido a que la producción flexible es apropiada para realizar modificaciones y cambios en su programación. Es importante diferenciar la Automatización Flexible de la Automatización Dura, debido a que está última no puede ser fácilmente modificada y reprogramada para atender otra tarea diferente a la usual, en otras palabras, la automatización dura no es eficaz en un escenario cambiante de operaciones en producción, lo que conduce a mayores costos operativos [5]. Una de las partes más fundamentales que se integran en los SFM son los robots industriales, debido a la gran flexibilidad que pueden tener para automatizar un sistema, ya que pueden ser rápidamente reprogramados y reconfigurados utilizando algunos requerimientos para la integración [4].

Características y flujo de información de la estación 1 (Almacén)

- Se puede seleccionar una materia prima e indicar el tipo de manufactura que se va a realizar sobre ella.
- Envía la información de forma serial al Controlador Lógico Programable (PLC, por su acrónimo en inglés), que controla al almacén.
- La información enviada se conoce como Kanban, debido a que lleva la información del tipo de materia prima y el producto que se realizará.

Fig. 1. Sistema Flexible de Manufactura.

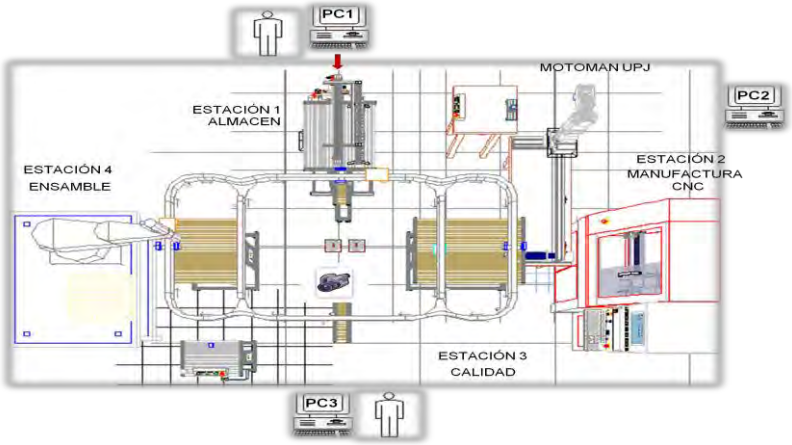


Fig. 2. Estaciones de trabajo del SFM.

La Fig. 3 muestra el primer flujo de información que va del usuario hacia la primera estación de trabajo, utilizando un medio de comunicación serial. El Kanban que se utiliza en el SFM se compone de dos números, utilizados para saber qué es lo que se desea manufacturar con algún tipo específico de materia prima, como se muestra en el diagrama de la Fig. 4.
Ejemplo: si el valor del Kanban fuera igual a **37**, las decenas igual a **3**, indican que se va a utilizar la materia prima **#3** y las unidades igual a **7**, indican que se va a realizar la manufactura **#7** con la materia prima **#3**.

La Tecnología de Grupos se utiliza como un enfoque para la manufactura en el que se identifican y agrupan partes similares para aprovechar sus similitudes en el diseño y en la producción. Se instrumenta mediante técnicas manuales automatizadas, por ejemplo, si se tienen 9 materias primas y además, se pueden manufacturar 3 productos diferentes por cada una de ellas, entonces se podrán producir 27 productos terminados.

Las características y funcionalidad del almacén son:

- Es un robot cartesiano de tres grados de libertad.
- Se controla a través de un PLC 313-2DP.
- El PLC está configurado como esclavo.
- Su tarea principal es descargar materia prima del almacén para cargarla en el carro transportador llamado Shuttle o Automatic Guide Vehicle conocido como AGV.
- Graba en el AGV la información del Kanban de forma serial a través del controlador y un módulo para el control inteligente de rutas identificado como OSM – T3.
- Envía la información del Kanban al PLC maestro que controla al riel transportador a través de la red PROFIBUS.

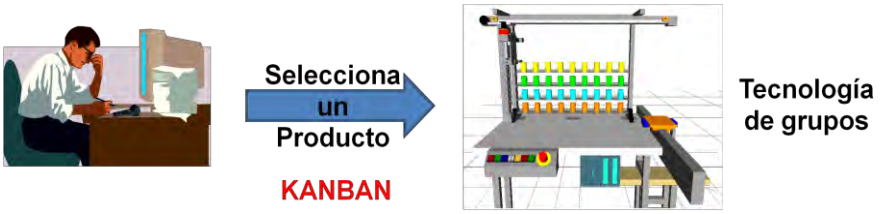


Fig. 3. Flujo de información entre la estación 1 y el usuario.

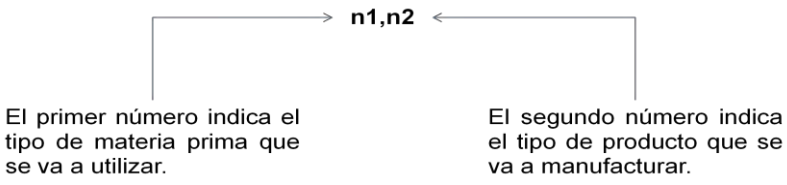


Fig. 4. Descripción de los datos utilizados en el Kanban.

La Fig. 5 muestra el almacén (a), el AGV en la estación (b) y el flujo de información que hay entre cada uno de los elementos que integran a la primera estación (c); para poder transmitir la información entre cada uno de los elementos de las diferentes estaciones, el módulo OSM-T3, permite leer la información que tiene el AGV cada que éste llega a una estación.

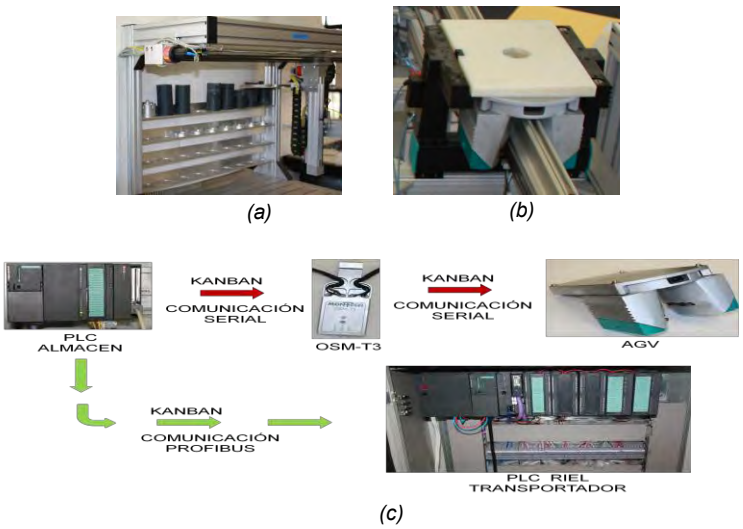


Fig. 5. Flujo de información y elementos que integran a la estación 1.

Características y flujo de información de la estación 2 (Manufactura)

- Robot antropomórfico de 6 grados de libertad (GDL).
- Soporta una carga máxima de 3 kg.
- Lenguaje del robot Program Assembly Cell o lenguaje PAC.
- Recibe la información del Kanban en forma de 1 byte a través de una terminal PROFIBUS ET200M.
- Descarga la materia prima del AGV para cargarla en la máquina de Control Numérico CNC.
- Descarga el producto terminado del CNC para cargarlo en el AGV.
- Envía la información del Kanban de forma serial a la computadora PC2.

La Fig. 6 muestra el flujo de información entre el robot antropomórfico y el AGV, siempre y cuando, éste último se encuentre o haya llegado a la estación. Una vez recibida la información del Kanban por el robot antropomórfico, ésta es enviada hacia la máquina del CNC como se describe a continuación:

Fig. 6. Flujo de información entre el AGV y el robot motoman UPJ.

- La computadora PC02 recibe la información del Kanban de forma serial enviada por el robot motoman UPJ y busca en su base de datos el tipo de materia prima y el proceso de manufactura.
- Sobrescribe el archivo en código G de la máquina de CNC por el archivo que contiene el código requerido para el nuevo proceso de producción.
- Informa al robot Motoman UPJ que los datos se han enviado correctamente.

La Fig. 7 muestra el flujo de información entre el robot y la computadora PC02, la cual a su vez modifica el archivo en código G del CNC para establecer un nuevo proceso de producción. Entre el robot antropomórfico y la máquina de CNC, existe una interfaz robótica que permite a ambas máquinas saber el estado actual del proceso de producción, así como conocer por parte del robot, si la puerta del CNC está abierta o cerrada.

La Fig. 8 muestra el flujo de información entre el robot motoman UPJ y la máquina de CNC EMCO PC TURN 155.

- El CNC indica al robot motoman UPJ el estado actual de la puerta (abierta o cerrada) y de igual forma si las mordazas están abiertas o cerradas.
- El CNC espera instrucción para arrancar el proceso de manufactura e indica al robot si el proceso ha concluido.

Fig. 7. Flujo de información para modificar el código G de la máquina de CNC.

Características y flujo de información de la estación 3 (Calidad)

La función principal de la estación de calidad es: obtener la calidad de la pieza producida a través de un procesamiento de imágenes digitalizada.

- Cámara VIDEO TRONIC color CCD.
- Obtener una imagen de la superficie del producto terminado y la compara con otra imagen tomada de un producto similar pero con la mejor calidad.
- Se requiere la presencia de un operador debido a que el software para evaluar la calidad de los productos no se puede automatizar.
- Se obtiene la calidad del producto terminado utilizando el software SL-VISION.
- La calidad de los productos se evalúa comparándolos a través de imágenes digitalizas.
- El software contiene varias herramientas matemáticas para evaluar la calidad de la pieza.
- Envíar a la terminal PROFIBUS ET200M que se encuentra con el robot adeptONE la información de la calidad del producto.

La Fig. 9 muestra el flujo de información que hay entre los diferentes dispositivos que integran a la tercera estación.

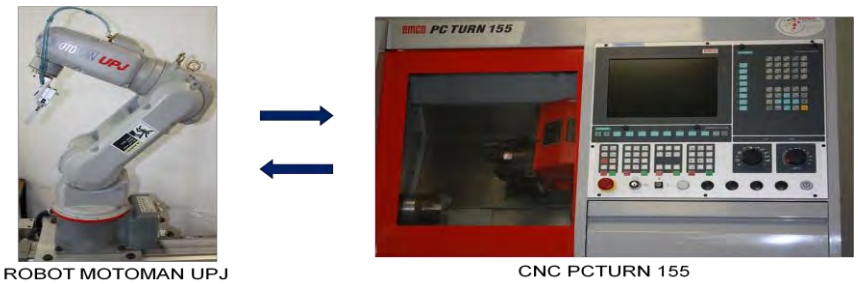


Fig. 8. Flujo de información entre el robot Motoman UPJ y la máquina de CNC.

Fig. 9. Flujo de información en la estación de calidad.

Características y flujo de información de la estación 4 (Ensamble)

- Esta estación permite realizar ensambles si el proceso de manufactura así lo requiere.
- Robot adept ONE de cuatro grados de libertad.
- Descargar el producto terminado del AGV.
- Realizar ensamble entre los productos terminados.
- Desechar los productos que no cumplan con la calidad.
- Recibe la información del kanban a través de la ET200M.
- La información sobre la calidad de la pieza la recibe a través de la ET200M.

En la Fig. 10 se muestra el flujo de información que hay entre los diferentes dispositivos que integran a la estación de ensamble. Es de importancia mencionar que para obtener una buena integración en el sistema, es necesario realizar un análisis de los diferentes desplazamientos que pueden realizar los robots industriales, al momento de ser programados para disminuir los tiempos de trabajo en el proceso de manufactura, debido a que son la máquinas que manipulan los materiales [7]. El flujo de información de todo el sistema se muestra en la Fig. 11.

Conclusión

Es importante conocer los diferentes equipos y máquinas que se utilizarán en la integración de un Sistema Flexible de Manufactura, pues conocer en detalle las características principales de estos, permiten realizar y obtener el flujo de información en el sistema, además de conocer cómo será la distribución del mismo. La integración del SFM se empieza desde el momento en que se analiza y se interconectan cada una de las máquinas y se termina programando cada una de las partes que lo constituyen. Una vez determinado el flujo del sistema, éste es de gran utilidad para establecer comportamientos deseados mediante la teoría de sistemas de eventos discretos, de esta manera, el sistema quedará integrado armónicamente.

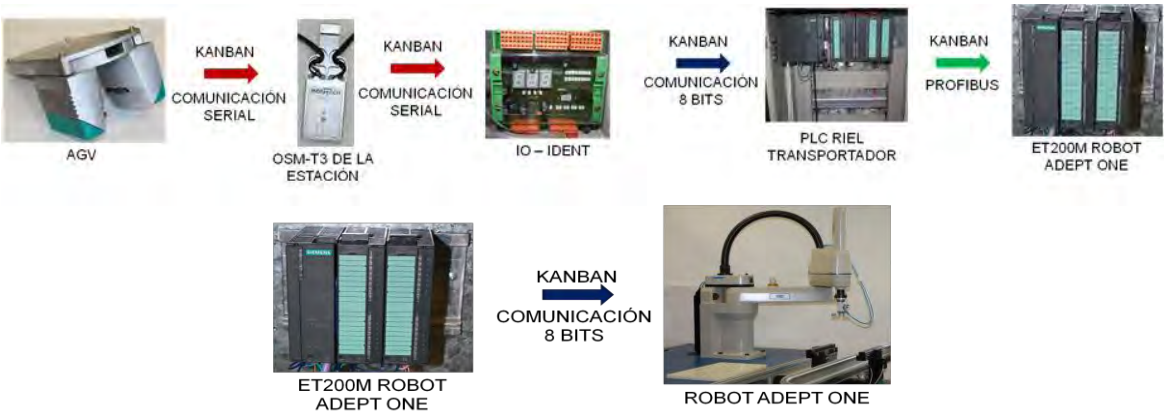


Fig. 10 Flujo de información en la estación de ensamble.

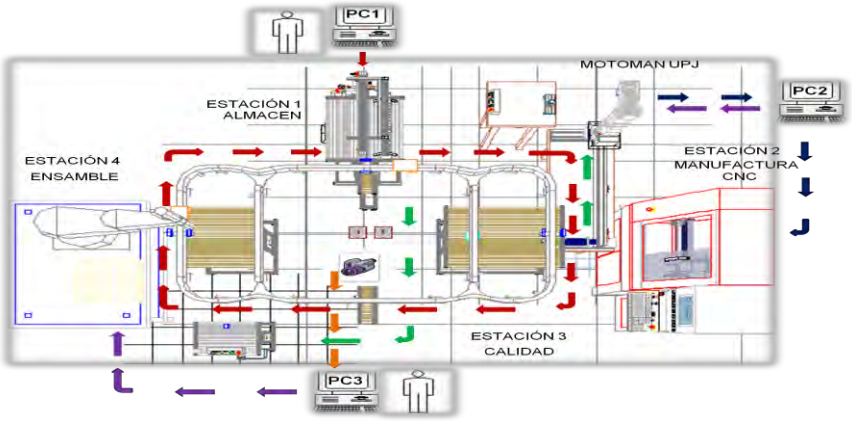


Fig. 11 Flujo de información en el Sistema Flexible de Manufactura.

Trabajos futuros

Conociendo caracterización y el flujo de información en el sistema de manufactura, se podrán realizar los siguientes trabajos:

- Integración del sistema programando cada una de las máquinas que lo constituyen.
- Integración del sistema utilizando redes de Petri.
- Integración del sistema utilizando redes neuronales.
- Integración del sistema utilizando algoritmos genéticos híbridos con una red de Petri o una red neuronal.
- Evaluación de la eficiencia y productividad entre los tres puntos anteriores.

Referencias

[1] Groober Mikell. "Automation Productions Systems and Computer Integrated Manufacturing". Segunda Edición. Prentice Hall. 2001.
[2] Shewchuk, John P. & Moodie, Colin L., "Definition and Classification of Manufacturing flexibility Tipes and measures". International Journals of Flexible Manufacturing Systems, 10(4), 325 – 349. 2010.
[3] A. Medina, Martín Salazar, M. Lugo. "Simulación del robot motoman en una célula de manufactura integrada", CIMEEM 2006.
[4] Reindhardt Muhelhaeusser, "Integration of robots into intelligent control systems", Industrial Robot, Vol. 24, No. 1, Research Article, 1997.
[5] Ernesto Córdoba, "Manufactura y Automatización", Revista Ingeniería y Automatización, Vol. 26, No. 3, 2006.
[6] Coriat, B., "El taller y el robot: Ensayo sobre la producción en masa en la era de la electrónica", Ed. Siglo XXI. 1992.
[7] Angel M. González, Martín Salazar, Ollin Peñaloza "Análisis de posiciones del robot industrial motoman UPJ para su integración en una célula de manufactura integrada por computadora", CIMEEM 2008.

EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo No. 27. Volumen 4(4), 8 páginas.

MODELO BIOMECÁNICO VIRTUAL DE MIEMBROS TORÁCICOS DE 17 GRADOS DE LIBERTAD USANDO UNIDADES DE MEDIDA INERCIAL

Francisco Bernal Yescas[1], Ivett Quiñones Urióstegui[1], José Antonio Tovar Sandoval[1], Evaristo Vela Peña[1].

Resumen

Los sistemas de captura de análisis de movimiento humano están diseñados para obtener datos cinemáticos y cinéticos de tareas específicas dentro del laboratorio. Para analizar, entender y explicar dichas tareas, lo más apegado a la realidad, se han desarrollado modelos biomecánicos. Los sistemas con mayor auge en la actualidad son las unidades de medida inercial, compuestas por acelerómetros, giroscopios y magnetómetros. En este trabajo se utilizaron siete MTx de Xsens Technologies para obtener parámetros cinemáticos instantáneos del movimiento de los miembros torácicos. Para asignar los valores inerciales al movimiento del sujeto, se desarrolló un modelo biomecánico de 17 grados de libertad rotacionales, que corresponden a las articulaciones hombro, codo, y muñeca, relacionando cada MTx con un segmento anatómico determinado. Así mismo, se implementó una interfaz virtual en Visual C++ para observar en tiempo real el movimiento de cada segmento en un modelo esquelético virtual en 3D y se generaron gráficas de los ángulos, velocidades y aceleraciones de los movimientos articulares.

Palabras clave: grados de libertad, modelo biomecánico, modelo esquelético 3D, IMU.

Summary

Human movement analysis systems are designed to collect kinetic and kinematic data of specific tasks within the controlled conditions of a laboratory. Biomechanics models have been developed to analyze, understand and explain such tasks. Inertial measurement units, consisting of accelerometers, gyroscopes and magnetometers, are the movement analysis sensors with more boom up to date. In this work seven MTx sensors from Xsens Technologies were used as IMU's to obtain instant kinematic parameters from upper limb movements. A 17 rotational degrees of freedom (DOF) biomechanics model was developed to allocate the inertial measurements to the subject, this DOF are associated to shoulder, elbow and wrist joints and each MTx to a determined anatomic segment. To enable a visual live feedback a virtual interface was developed using Visual C++ to create a 3D skeletal model associated to the movement of each anatomic segment, furthermore angle, velocity and acceleration graphics were generated for each joint.

Keywords: Biomechanical Model, Degree of Freedom, 3d Skeleton Model, Inertial Measurement Unit.

Introducción

Se han desarrollado diferentes técnicas y métodos para analizar el movimiento humano, que van desde los sistemas de cámaras, electrogoniometría, sistemas de posición electromagnética, y últimamente los sensores inerciales o unidades de medida inercial (IMU - inertial measurement unit por sus siglas en inglés). Estos últimos brindan ventajas respecto a los anteriores, ya que pueden captar de manera simultánea el movimiento en diferentes ejes, y no son susceptibles a ruido debido a diferencias de luz o señales de radiofrecuencia. Gracias a éstas ventajas el estudio y análisis del movimiento humano con sensores inerciales ha tenido gran auge en los últimos años [1].

Los IMU's están compuestos de acelerómetros (que miden la aceleración lineal), giroscopios (que miden la velocidad angular), y en algunos casos de magnetómetros (que miden el campo magnético terrestre). Los IMU's se pueden referenciar a un objeto determinado y por medio de los datos que arroja se puede conocer la posición y orientación instantánea de dicho objeto [1].

[1] Laboratorio de Análisis de Movimiento, Instituto Nacional de Rehabilitación, S.S., México. E-mails: fbernaly@gmail.com, tovar.sandoval@gmail.com

El conocimiento de la posición y orientación instantánea de un objeto permite relacionarlo con otro para así, obtener una cadena cinemática de varios objetos, que en este caso serán los miembros torácicos [1], [2].

El cuerpo humano es un objeto complejo y deformable, con extremidades flexibles, que tienen un amplio rango de movimiento, por lo que presenta restricciones y dificultades al momento de modelarlo u obtener datos cuantitativos y cualitativos de las funciones motoras de las extremidades [3].

Los modelos del cuerpo humano que explican su postura pueden clasificarse en modelos 2D y modelos 3D.

1) *Los modelos 2D* utilizan figuras geométricas como rectángulos, elipses, y trapecios para simular la cabeza, las extremidades, el tronco, etc. Por ejemplo, Ren & Xu, modelaron los segmentos de los miembros torácicos integrando varias restricciones y usando figuras geométricas [3].

2) *Los modelos 3D* o a veces llamados modelos esqueléticos, consisten en un esqueleto conectado por las articulaciones, y son ampliamente utilizados hoy en día. Otro tipo de modelo 3D son los modelos volumétricos, los cuales no solamente toman en cuenta el largo de los segmentos, sino que también consideran su volumen, formando así cilindros, esferas, elipsoides y conos que representan los segmentos y las partes del cuerpo humano [4].

El conocimiento de la cinemática y cinética de los miembros torácicos requiere de asociar los datos del movimiento con un modelo de todos los segmentos anatómicos involucrados, así mismo la precisión de un estudio de análisis de movimiento depende del número de grados de libertad que se consideren [5].

El modelado biomecánico se ha convertido en una herramienta importante para el estudio del movimiento del miembro torácico, y ha llamado la atención a diferentes investigadores en los últimos años [3], [5], [6]. El miembro torácico está compuesto por tres articulaciones consecutivas: el hombro, el codo, y la muñeca. La conexión de estas articulaciones a través del brazo, el antebrazo, y la mano permite un amplio rango de movimiento. Por consiguiente, un análisis completo del miembro torácico requiere información de la cinemática, las fuerzas y los momentos generados en estas tres articulaciones y segmentos [6].

Mientras que el análisis dinámico de un cuerpo rígido no presenta problemas teóricos, el análisis del miembro torácico es una tarea compleja debido a sus características anatómicas. Las limitantes técnicas y teóricas, así como las restricciones anatómicas hacen que el análisis del movimiento y de las fuerzas y momentos en 3D sea difícil. En la búsqueda de una solución a este problema, algunos investigadores han desarrollado diversas técnicas y métodos de análisis [6].

El modelado de la muñeca y del codo puede ser simplificado usando dos articulaciones de un grado de libertad para cada una. El hombro es una articulación compleja porque contiene a dos articulaciones separadas: la articulación escapulotorácica y la articulación glenohumeral, sin embargo se puede simplificar considerándola como la unión de tres articulaciones de un grado de libertad cada una.

En este trabajo se expone el desarrollo de un modelo biomecánico de los miembros torácicos y el tronco, el cual consiste en 7 grados de libertad para cada miembro: 3 en el hombro, dos en el codo, dos en la muñeca y tres en el tronco. Solo se ha modelado la cinemática de los miembros torácicos y el tronco. Las posición y orientación instantáneas de cada segmento anatómico considerado en el modelo biomecánico, son medidas a través de IMU's.

El propósito de este trabajo es adquirir y monitorear datos cinemáticos de los miembros torácicos durante la propulsión de una silla de ruedas.

Metodología

A. Unidad de Medida Inercial.

Se utilizaron siete IMU's modelo MTx desarrollados por Xsens Technologies B.V (Enschede, The Netherlands). Los cuales cuentan con nueve sensores: tres acelerómetros, tres giroscopios, y tres magnetómetros, para poder captar la orientación de un objeto en 3D. Estos sensores fueron conectados a una unidad Xbus Master (Fig. 1.a), la cual transmite la información de cada sensor vía Bluetooth a una computadora.

Cada unidad Xbus Master puede tener conectados 10 sensores MTx como máximo. Cuando la unidad Xbus Master se usa en su máxima capacidad, se debe disminuir la frecuencia de muestreo para evitar problemas de *aliasing* en el envío de datos, por tal motivo la frecuencia de muestreo utilizada fue de 50 Hz.

El MTx cuenta de manera embebida con un DSP (Digital Signal Processor – Procesador de Señales Digitales) para procesar los datos de los sensores y obtener los cuaterniones, la matriz de rotación o los ángulos de Euler que describen la rotación de un objeto en el espacio 3D.

La información recibida en la computadora de cada sensor consta de la aceleración lineal, la velocidad angular, y el campo magnético terrestre en X, Y, y Z, así como de los cuaterniones.

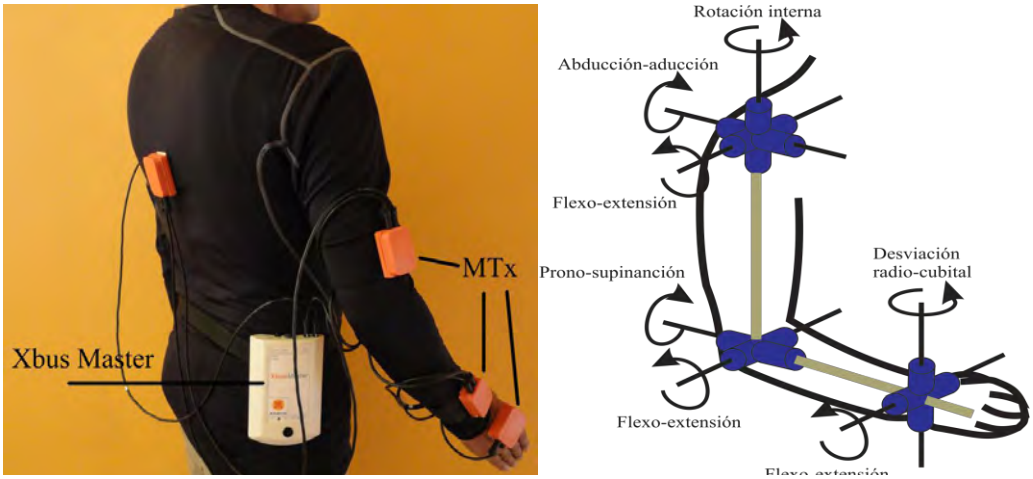


Fig. 1. a. Colocación de los sensores MTx en el cuerpo. b. Grados de libertad del miembro torácico.

B. Modelo Biomecánico.

Para simplificar el modelo (Fig. 1.b) se hicieron las siguientes suposiciones:

1) Se considero fija la parte inferior a la cadera.
2) Al tronco se le consideró como el primer segmento móvil con tres grados de libertad ubicados en la pelvis, que permiten la inclinación antero-posterior, la inclinación lateral, y la rotación sobre el eje medial.
3) Los siguientes segmentos articulados son los hombros, con tres grados de libertad cada uno, que permiten la flexión-extensión, la abducción-aducción y la rotación interna.
4) Posteriormente los codos, con un grado de libertad cada uno, permitiendo la flexión-extensión del mismo.
5) Las muñecas se definieron con tres grados de libertad en cada una, para permitir la prono-supinación, la desviación radio-cubital y la flexión-extensión de la mano, sin embargo la prono-supinación puede ser considerada desde el codo.
6) Cada segmento del cuerpo se consideró como un cuerpo rígido e indeformable, con centro de masa contenido, y las articulaciones sin fricción.
7) Se tomaron en cuenta las medidas antropométricas como se muestran en la Tabla 1.
8) Se referenció cada sensor MTx con un segmento anatómico determinado: uno para el tronco, dos para los brazos, dos para los antebrazos y dos para las manos, la colocación de los sensores se muestra en la Fig. 1.a.

C. Análisis Matemático.

Un cuaternión está definido como un número complejo:

Tabla 1. Medidas antropométricas consideradas.

	Descripción
d_0	Ancho caderas
d_1	Ancho tórax
d_2	Ancho de cintura sscapular
l_0	Altura acromial al hombro *
l_1	Longitud de brazo *
l_2	Longitud de antebrazo *
l_3	Longitud de mano extendida *
d_3	Ancho de mano extendida con pulgar *
d_4	Diámetro estiloideo *
d_5	Diámetro humeral *

* Estas medidas se toman para los miembros izquierdo y derecho

$$Q = q_0 + q_1 i + q_2 j + q_3 k \tag{1}$$

donde q_0 es un número real, y q_1, q_2, q_3 son la parte imaginaria. Un cuaternión también puede expresarse como un giro θ sobre un eje ν:

$$Q = Rot(\nu, \theta) = (\cos\frac{\theta}{2}, \nu\, sen\frac{\theta}{2}) \tag{2}$$

Utilizando (2) se puede conocer la orientación de cada segmento anatómico, sin embargo, esto no proporciona información sobre la posición del segmento.

Si se conocen las medidas antropométricas de cada usuario, se puede conocer la posición de cada segmento siguiendo la secuencia que se describe a continuación.

Se tomó como sistema global de referencia a la parte fija (la cadera), en el origen de este sistema de referencia se colocó el eje de rotación de los tres primeros grados de libertad. Debido a que los cuaterniones representan una rotación compuesta en X, Y, y Z, se necesitó descomponer el cuaternión para conocer en ángulo de rotación sobre cada uno de estos ejes, para ello se utilizó el primer vector columna de la matriz de rotación M.

$$M = \begin{bmatrix} q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2 & 2(q_1 q_2 - q_0 q_3) & 2(q_0 q_2 + q_1 q_3) \\ 2(q_0 q_3 + q_1 q_2) & q_0^2 - q_1^2 + q_2^2 - q_3^2 & 2(q_2 q_3 - q_0 q_1) \\ 2(q_1 q_3 - q_0 q_2) & 2(q_0 q_1 + q_2 q_3) & q_0^2 - q_1^2 - q_2^2 + q_3^2 \end{bmatrix} \tag{3}$$

El vector compuesto por M_{11}, M_{21}, M_{31} de (3) representan el eje longitudinal sobre el que se desplaza cada segmento, y tiene norma unitaria. Utilizando las ecuaciones (4), (5) y (6) se conoció el ángulo de rotación de cada segmento sobre el eje X, Y, y Z:

$$a = \theta_x = \cos^{-1}\frac{M_{11}}{\sqrt{M_{11}^2 + M_{21}^2}} \tag{4}$$

$$b = \theta_y = \cos^{-1}\frac{M_{21}}{\sqrt{M_{21}^2 + M_{31}^2}} \tag{5}$$

$$c = \theta_z = \cos^{-1}\frac{M_{31}}{\sqrt{M_{31}^2 + M_{11}^2}} \tag{6}$$

donde: θ_x – ángulo de rotación en x.
θ_y – ángulo de rotación en y.
θ_z – ángulo de rotación en z.

Una vez calculados los ángulos a, b, y c se utilizaron las medidas antropométricas del siguiente segmento para conocer su posición de la siguiente manera.

En la Fig. 2 se muestra la representación de $P_i(x_i, y_i, z_i)$ como el punto de inicio de cualquier segmento determinado, $P_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1})$ es el extremo distal del mismo segmento donde se articula con el siguiente segmento anatómico. l_i es la distancia entre P_i y P_{i+1}, y se toma de las medidas antropométricas.

Debido a que el sistema de referencia global está en la pelvis se conocen las coordenadas del primer punto P_i, y por lo tanto, las coordenadas del siguiente punto P_{i+1} son:

$$\begin{bmatrix} x_{i+1} \\ y_{i+1} \\ z_{i+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} + l_i \begin{bmatrix} -\cos a_i \cos b_i \\ -\cos a_i \,\text{sen}\, b_i \\ \text{sen}\, a_i \end{bmatrix} \tag{7}$$

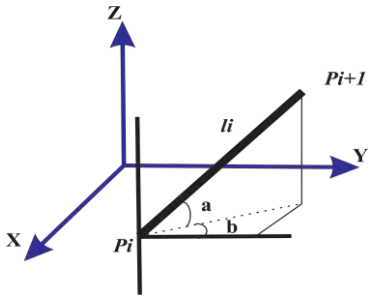


Fig. 2. Posición de P_i y P_{i+1} en el espacio 3D.

Para conocer la posición de cada segmento referenciado a un determinado MTx se hacen los cálculos de (3) hasta (7) por cada sensor y para cada instante.

La velocidad y la aceleración angulares de cada articulación son calculadas haciendo la primera y segunda derivada de (4), (5) y (6), utilizando en método de diferencias finitas para cada una de ellas, tal como sigue:

$$w(t) = \dot{\theta}(t) = \frac{\theta(t)-\theta(t-1)}{\Delta t} \tag{8}$$

$$a(t) = \dot{w}(t) = \frac{w(t)-w(t-1)}{\Delta t} \tag{9}$$

donde: $\theta(t)$ - ángulo de la articulación en el instante t,
$\theta(t-1)$ - ángulo de la articulación en el instante t-1,
$w(t)$ - velocidad angulas en el instante t,
$a(t)$ - aceleración angular en el instante t,
Δt - incremento de tiempo entre t y t-1.

D. Interfaz de Visualización en Tiempo Real.

Para visualizar la adquisición de los ángulos de cada segmento anatómico medido con los MTx, y evaluar el desempeño del modelo biomecánico desarrollado, se programó una interfaz en Visual C++, y se utilizaron las librerías de OpenGL para desplegar un modelo esquelético en 3D con sus respectivas medidas antropométricas.

Se programaron ventanas para entrada de datos de pacientes (nombre completo, edad, sexo, peso), así como cada una de las medidas antropométricas mencionadas en la Tabla 1.

En la ventana principal se programó el despliegue en tiempo real del modelo esquelético en 3D con los movimientos realizados por el paciente. Así como también graficas que muestran la magnitud de los ángulos, velocidades y aceleraciones de cada grado de libertad.

Resultados

Los datos de los siete sensores MTx se adquirieron de manera consecutiva a través de un COM virtual. La información del primer sensor corresponde al ubicado en la espalda, la información de los sensores dos, cuatro y seis corresponden a los ubicados en el brazo, antebrazo y torso de la mano del lado derecho, la información de los sensores tres, cinco y siete corresponden a los ubicados en el brazo, antebrazo y torso de la mano del lado izquierdo.

En la Fig. 3 se muestra la pantalla principal de la interfaz virtual, en el centro se encuentra ubicado el despliegue del modelo esquelético 3D, a los lados derecho e izquierdo del modelo esquelético se colocaron ventanas donde se grafican los siguientes ángulos de cada miembro torácico:

1. Flexión-extensión del hombro.
2. Abducción-aducción del hombro.
3. Rotación interna del hombro.
4. Flexión-extensión del codo.
5. Pronación-supinación de la mano.
6. Desviación radial-cubital.
7. Flexión-extensión de la mano.

Al dar clic sobre el botón ‘Configuración’ ubicado en la parte inferior izquierda se despliega un cuadro de dialogo que permite seleccionar la información a graficar en las ventanas de la pantalla principal. Las opciones son: ángulos, velocidades angulares y aceleraciones angulares. Solo se grafica un tipo de información a la vez.

En el cuadro de dialogo configuración se escogen las unidades en que se graficará la información. Los ángulos se grafican en grados o en radianes, las velocidades pueden graficarse en °/s, rad/s ó RPM, las aceleraciones angulares pueden graficarse en $°/s^2$ ó rad/s^2. Dependiendo de la información a graficar y la unidad escogida, se ajusta automáticamente la escala vertical de todas las ventanas de la pantalla principal.

Las medidas antropométricas de la Tabla 1 que se utilizan para el dibujo del modelo esquelético en 3D se introducen en la sección ‘Antropometría’ del cuadro de dialogo de configuración (Fig. 4).

Después de configurar la adquisición de datos se da clic en el botón ‘Iniciar’ para iniciar la adquisición de los siete MTx. El botón ‘REC’ queda habilitado después de iniciar la adquisición, al dar clic sobre él se guardan en un archivo *.txt los ángulos, velocidades y aceleraciones de los siete MTx de manera simultánea. Los archivos guardados permiten tener un registro de cada una las pruebas de adquisición de datos realizadas.

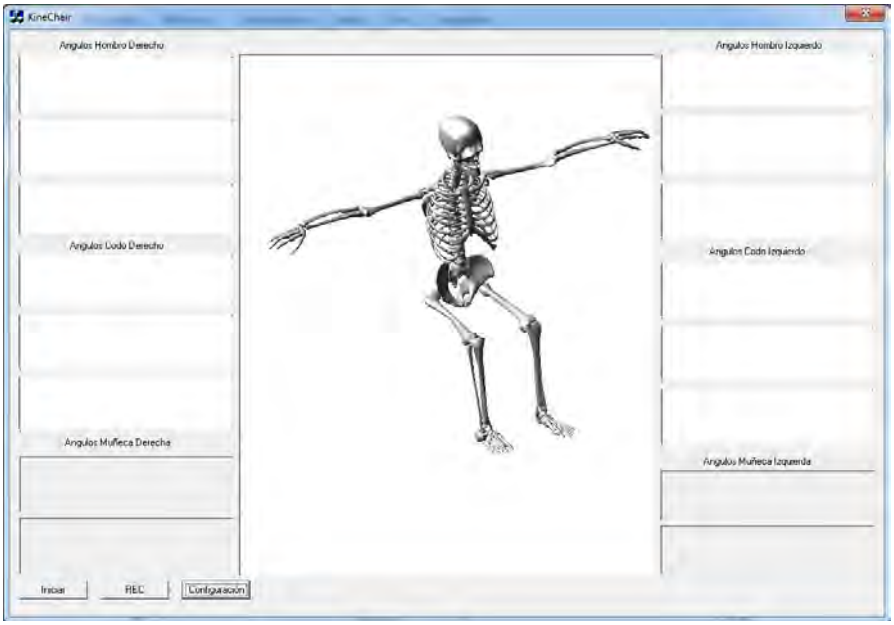


Fig. 3. Pantalla principal de la interfaz de visualización

La adquisición de los ángulos con los siete MTx tiene una resolución 0.25°, con una precisión ± 2°, la frecuencia de muestreo es de 50 Hz.

En la Fig. 5 se muestran las gráficas obtenidas con los sensores MTx que corresponden al ángulo, velocidad angular y aceleración angular de los movimientos de abducción/aducción y flexión/extensión del hombro derecho durante 15 s mientras un usuario realiza la propulsión de su propia silla de ruedas.

Discusión

En un trabajo previo [2], se presentó el manejo de los MTx para programar una interfaz semejante pero con cierto problema al capturar y adquirir el movimiento de las muñecas, esto debido a que en dicho trabajo se utilizaron electro-goniómetros para obtener la flexo-extensión de las muñecas. En el trabajo que aquí se presenta, se resolvió ese problema colocando sensores MTx en el dorso de la mano, lo que dio la ventaja de agregar dos grados de libertad a la mano: la desviación radio-cubital y la prono-supinación.

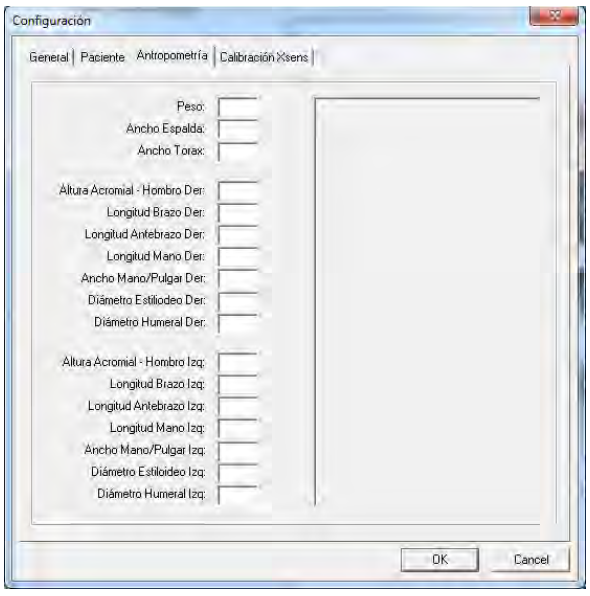


Fig. 4. Sección de Antropometría del cuadro de dialogo de configuración.

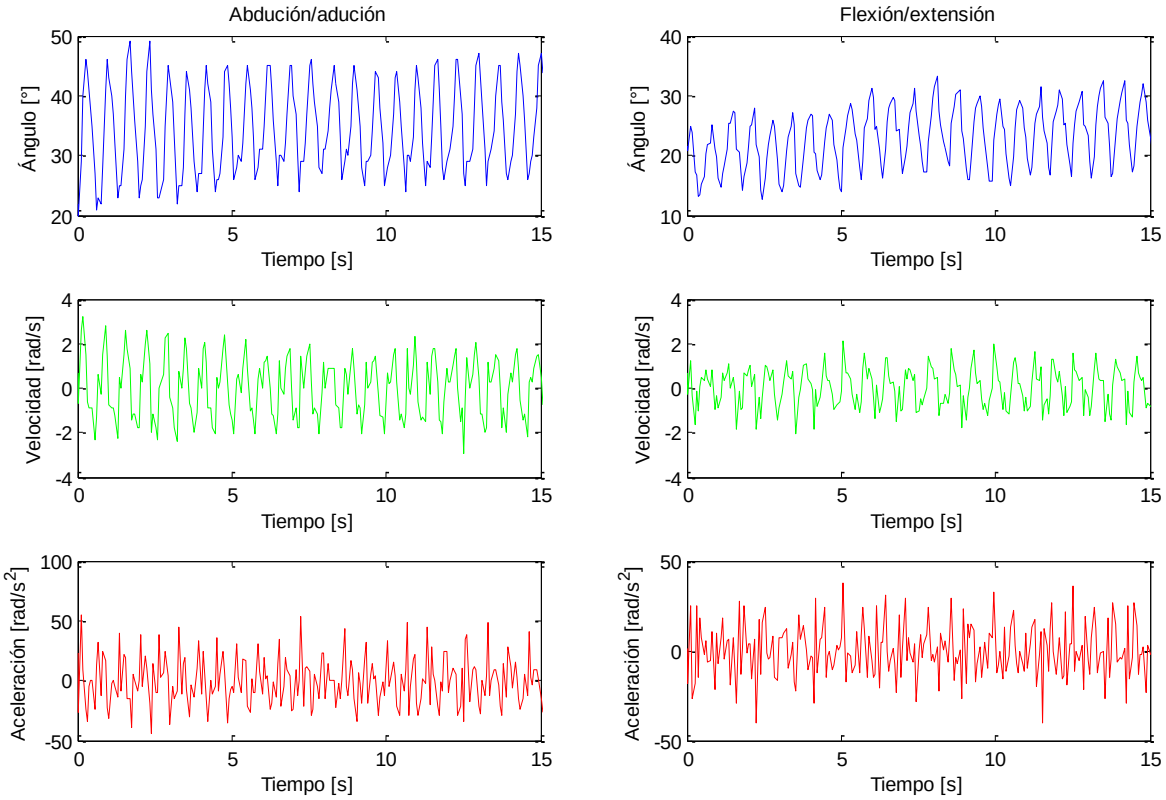


Fig. 5. Ángulos, velocidades angulares, y aceleraciones angulares durante la abducción/aducción y flexión/extensión del hombro derecho.

Además, al utilizar este modelo es posible escalar el modelo esquelético con las medidas antropométricas del paciente.

El desarrollo del modelo biomecánico y de la interfaz permitió integrar el despliegue de variables como lo son la velocidad angular y aceleración angular. El conocer el comportamiento de estas variables, en particular de la aceleración, aportará información necesaria para el desarrollo futuro de un análisis cinético en donde se relaciona la aceleración angular con el momento de inercia de cada segmento anatómico para hallar el torque y la potencia realizada en cada articulación.

El modelo biomecánico propuesto de 17 grados de libertad permite obtener de manera precisa la magnitud de los ángulos implicados en las rotaciones de las articulaciones. Todos los grados de libertad considerados en el modelo biomecánico son rotacionales.

Cuando el brazo se eleva por encima de la cabeza el modelo sigue midiendo las rotaciones, pero anatómicamente al subir el brazo, la escápula y la clavícula rotan hacia arriba desplazando el húmero de su centro habitual de rotación, haciendo necesario agregar al hombro dos grados de libertad de tipo prismático, lo que implicaría el uso de más sensores MTx. Agregar estos dos grados de libertad se considera como trabajo futuro, sin embargo el estado actual modelo biomecánico es suficiente para medir rangos de movimiento amplios como los realizados durante la propulsión de una silla de ruedas.

Conclusión

Se desarrolló un modelo biomecánico de los miembros torácicos y el tronco con 17 grados de libertad con el que se obtiene la cinemática del las articulaciones y segmentos involucrados, tomando en cuenta todos los movimientos anatómicos de cada una de ellas.

Reconocimientos

El presente trabajo forma parte del proyecto patrocinado por el Fondo Sectorial para la Investigación en Salud y Seguridad Social: CONACyT-SALUD-2007-01-71035.

Referencias

[1] D. Roetenberg, P.J. Slycke, and P.H. Veltink, "Ambulatory position and orientation tracking fusing magnetic and inertial sensing," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 54, no. 5, pp. 883–890, 2007.

[2] I. Quiñones, E. Vela, A. Alessi, A. Velazquez, and R. Infante, "Desarrollo de un Sistema de Captura del movimiento de miembros Torácicos a través de Sensores Inerciales," in *Suplemento Resúmenes CNIB2009*, 2009.

[3] Haibing Ren and Guangyou Xu, "Articulated-Model Based Upper-limb Pose Estimation," in *Proceedings of 2001 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation*, Banff, Alberta, Canada, 2001, pp. 450-454.

[4] G. S. Nikolova and Y. E. Toshev, "Estimation of male and female body segment parameters of the Bulgarian population using a 16-segmental mathematical model Institute of Mechanics Bulgarian, 2007.," *Journal of Biomechanics*, vol. 40, no. 16, pp. 3700-3707, 2007.

[5] R. Fazel-Rezai, E. Shwedyk, and S. Onyshko, "Three Dimensional Kinematic Model of the Upper Limb with Ten Degrees of Freedom," in *Proceedings - 19th International Conference - IEEE/EMBS*, Chicago, IL. USA, 1997, pp. 1735-1737.

[6] Hussein A. Abdallah, Cole Tarry, Rahul Datta, Gauri S. Mittal, and Mohamed Abderrahim, "Dynamic biomechanical model for assesing and monitoring robot-assisted upper-limb therapy," *Journal of Rehabilitation Research & Devellopment*, vol. 44, no. 1, pp. 43-62, 2007.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 28. Volumen 4(1), 8 páginas.

DESARROLLO DE UN ERGÓMETRO PARA EL ANÁLISIS DEL MOVIMENTO DE LA PROPULSIÓN EN SILLA DE RUEDAS

José Antonio Tovar Sandoval[1], Ivett Quiñones Urióstegui[2], Francisco Bernal Yescas[2], Evaristo Vela Peña[2].

Resumen

El uso continuo de una silla de ruedas produce complicaciones en el parapléjico, esto debido a las condiciones de dinámica y postura durante la propulsión, las transferencias y el levantamiento del propio peso. Estas complicaciones se manifiestan en lesiones de las estructuras articulares del miembro superior. La propulsión es un movimiento repetido que propicia el sobreuso de las articulaciones acromioclavicular, glenohumeral y escapulotorácica. Con el objeto de identificar las posturas que propician la lesión durante la propulsión, es necesario analizar ciclos repetidos del gesto motor, por lo que es indispensable contar con una herramienta que permita reproducir la propulsión en un ambiente controlado. En este trabajo se presenta el diseño y la construcción de un ergómetro que permite la reproducción de la propulsión de una silla de ruedas. El sistema cuenta con un sensor de torque y de velocidad de la rueda. Además su diseño permite medir cualquier tipo de silla de ruedas.

Palabras clave: análisis de movimiento, ergómetro, diseño mecánico, torque.

Summary

There are a number of problems in the paraplegic pacient associated to the continuous use of a wheelchair., produced by the posture and dynamics while performing the wheelchair propulsion, seat transfers and lifting one´s own weight. These complications are made present in the form of upper body articular injuries. Wheelchair propulsion is a repetitive task that produces overuse of acromioclavicular, glenohumeral and scapulotoracic joints. In order to identify the postures that produce injury during propulsion, it is necessary to analyze the cicles involved in the motor gesture, therefore it is essential to have the tool that enables to perform the propulsion in a controlled environment. The design and manufacture of an ergometer capable of reproducing wheelchair propulsion is the main topic of this article. The system also has torque and speed sensors on the wheel. Furthermore its design makes it possible to measure and conduct analysis on any wheelchair size and type.

Keywords: Ergometer, Mechanical Design, Movement Analysis, Torque.

Introducción

Una de las complicaciones más frecuentes y también discapacitantes en el parapléjico es la patología relacionada con el sobre uso de las extremidades superiores debido al manejo de las silla de ruedas, resultando en la condición denominada hombro doloroso. Entre el 30% y el 73% presentan dicha patología [1]. Según algunos autores[1], el 51% de la incidencia con dicha patología es atribuida al uso de silla de ruedas.

Es sabido y ha sido estudiado que la posición de la silla de ruedas sobre la referencia del eje de las mismas juega un papel vital en la distribución de masa del individuo pudiendo así mejorar el desempeño y postura del usuario, o propiciar una alineación inadecuada que resulte en lesión. La Fig. 1 muestra esquemáticos de ángulos de alineación del usuario con respecto a la rueda.

[1] Departamento de Ingeniería Biomédica, Universidad Iberoamericana. Polongación Paseo de la Reforma 880, Lomas de Santa Fe, México, C.P. 01219, Distrito Federal. E-mail: tovar.sandoval@gmail.com

[2] Laboratorio de Análisis de Movimiento, Instituto Nacional de Rehabilitación. Calz. México Xochimilco No. 289 Col. Arenal de Guadalupe,C.P.14389, Distrito Federal. fbernaly@gmail.com

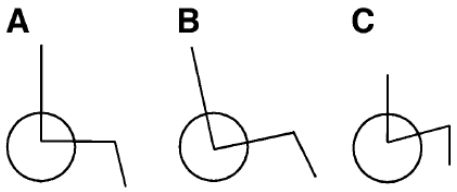


Fig. 1. En los esquemas A y B se tiene a 90° el ángulo de asiento-respaldo, mientras que en C se utiliza un ángulo agudo, manteniendo la perpendicularidad del respaldo y las piernas con el suelo [2].

La forma de propulsar la silla de ruedas depende del tipo de silla, de la posición del asiento, la posición de la rueda trasera, de la antropometría del paciente, del nivel de lesión, y de la propia técnica adquirida. Lo que orilla a que existe una configuración idónea para cada usuario que reduzca la fuerza vertical aplicada a la articulación del hombro y disminuya el riesgo de lesión. Es decir, dependiendo de la posición del usuario en cuanto al ángulo asiento-respaldo, altura relativa del usuario con respecto al eje de las ruedas, etc., se puede evitar al mínimo el pinzamiento en las estructuras subacromiales, protegiendo así la articulación de una lesión crónica y discapacitante.

El análisis de movimiento de la propulsión consiste en identificar la goniometría del gesto motor, la función muscular, las fuerzas involucradas en cada articulación, la velocidad y aceleración. Se ha estudiado en atletas parapléjicos el gasto energético concluyendo que una prueba de 12 minutos tipo Cooper no aporta datos relevantes [3], debido a que no es posible saber el torque que prevalece en el rotor de la rueda de una silla y su relación con la posición relativa del individuo y lo que representa en términos de esfuerzo para el paciente [3].

El diagnóstico de cada usuario no es sencillo ya que intervienen muchos factores en la determinación de un riesgo potencial de lesiones en la articulación de hombro y en miembro superior (túnel del carpo, codo, etc.)[4], esto debido a que cada combinación de usuario y silla de ruedas es un sistema físico particular.

Por lo tanto, es necesario diseñar un ergómetro que permita mantener fija la silla de ruedas mientras se realizan las pruebas dinámicas al individuo y que al mismo tiempo proporcione los parámetros de torque, velocidad y aceleración de la rueda [5].

El proyecto aquí presentado es el diseño de un ergómetro basado en rodillos con un sistema de adquisición en tiempo real del torque y la velocidad generados en el eje de rotación de una silla de ruedas cualquiera.

Existen antecedentes de otros ergómetros que en su mayoría son creados por instituciones de investigación y no están disponibles en el mercado. Por otro lado, el ErgoChair diseñado en Valencia, está pensado para dar entrenamiento a los usuarios de silla de ruedas, y no mide torque.

Metodología

Diseño Conceptual.

Para el proceso de diseño se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

Formulación del problema:

a) Contar con rodillos sobre los que gire la rueda trasera con un mínimo de fricción. Los rodillos del ergómetro deben permitir que la rueda trasera gire de manera natural, tal como gira sobre el suelo.
b) Contar con un sistema de sujeción para la silla de ruedas y brindar seguridad al usuario. Contar con un sistema de frenado.
c) La medición del troque sobre la rueda y no sobre los rodillos.
d) Los materiales deben ser resistentes a la compresión, esfuerzo dinámico para el momento angular y cizallamiento y al óxido. Estas características deben ser ya sea inherentes al material utilizado o satisfechas por el acabado y/o manufactura de los componentes.
e) Permitir un fácil acceso a la silla de ruedas mediante una rampa de 10% de inclinación, con superficies antiderrapantes. Un ángulo de acceso no mayor a 8°.
f) Que permita la medición de parámetros cinemáticos sobre la silla de ruedas
g) Aceptar las dimensiones de la mayoría de los modelos de silla de ruedas en el mercado.

Generación y selección de los conceptos de diseño:

Se realizó una búsqueda y análisis de ergómetros publicados por centros de investigación, y se consideraron sus configuraciones mecánicas [6].

Se diseñó una estructura basada en una rampa de acceso, una base para las ruedas delanteras y una base con rodillos de giro libre para las ruedas traseras. Este diseñó incluyó el sistema de sujeción de la silla de ruedas, y el soporte para el sensor de torque. Como materiales se seleccionaron los siguientes:

- Se decidió usar acero inoxidable código AISI, ASTM, NMX 303 para los rodillos, debido a su resistencia a oxidación y corrosión y a que es un material muy maquinable y comúnmente usado en la industria.
- Se eligió para las estructuras acero estructural ASTM A-36. Este material tiene gran resistencia a esfuerzos de tracción y compresión.
- Finalmente para la sujeción de la silla y torquímetro se usó aluminio por sus propiedades de resistencia y ligereza.

El diseño partió de tener una altura mínima sobre el suelo que brinde seguridad al paciente y permita obtener un ángulo de acceso de acuerdo a la norma. Esta altura se definió en 12 cm, a partir de los cuales se obtuvieron el resto de las dimensiones. De la Fig. 2:

- *r1* = 30.5cm
- *r2* = 5.715cm
- *rh* = r1+r2 = 36.215 cm
- *hc* = altura de la chumacera = 3.3cm
- *d2* = altura de la rueda sobre el centro de giro de los rodillos
- *d1* = separación entre rodillos = 17cm
- *hb* = altura de la barra.

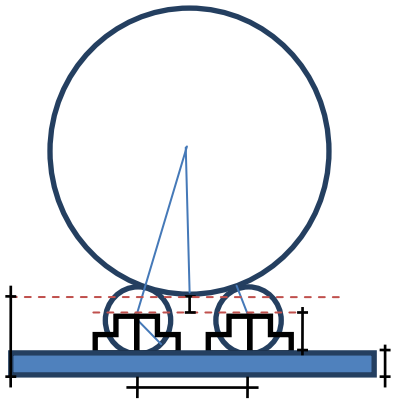


Fig. 2. Esquema del sistema de rodillos sobre la base.

Para llevar un control de los costos, se prefirió usar materiales de medidas comerciales por lo que el diámetro de los rodillos de 10 cm (valor medio de radio máximo admisible para el acero inoxidable) se tuvo que ajustar a 4 ½ in. Por lo tanto quedó como sigue:

$$rh^2 = (r1 + d2)^2 + (r1 + d2)^2 \quad (1)$$

De (1):

$$d2 = \sqrt{rh^2 - {d1/2}^2} - r1 \quad (2)$$

Sustituyendo los valores de la Fig 2. en (2): $d2 = 4.403cm$

La altura total está dada por la siguiente expresión:

$$12cm = hc + d2 + hb \quad (3)$$

De (3):

$$hb = 12cm - hc - d2 \quad (4)$$

Y sustituyendo los valores de la Fig. 2 y (3) en (5): $hb = 3.997cm \rightarrow hb \approx 4cm$

Para facilitar la manufactura se seleccionó un estructural cuadrado de acero de 5 cm, al cual simplemente se le desbastó la sección donde se situaron los barrenos y chumaceras para dejar la altura calculada de 4 cm.

Pruebas al diseño mecánico

Asegurando que los materiales elegidos cumplieran con las necesidades mecánicas se simuló en ANSYS® la resistencia de los elementos como se muestra en la Fig 3.

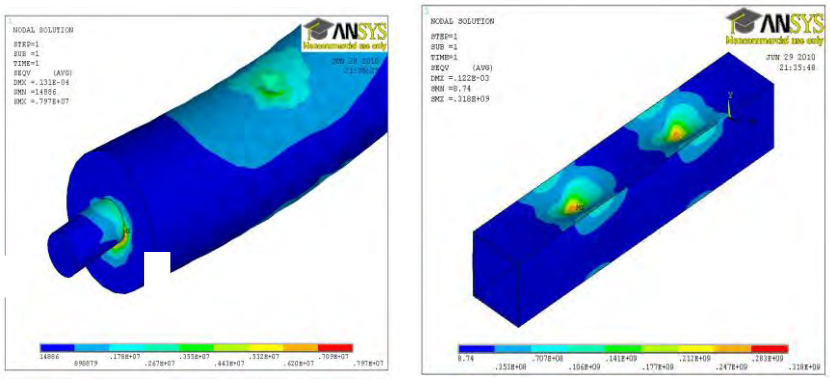


Fig. 3. Análisis de resistencia mecánica.

Para este proyecto se decidió usar rodamientos a bola de una hilera rígidos que resultan más que suficientes para la aplicación. Se realizaron cálculos de rodamiento y fricción a los baleros sobre los que giran los rodillos.

En la Fig. 4 se aprecia un diagrama de una silla de ruedas sobre dos rodillos, donde:

R - es el radio de la rueda de la silla.
r - es el radio de los rodillos.
dr - es la distancia entre los ejes de los rodamientos.
fw - es la fuerza del peso del sistema paciente-silla de ruedas.
fn - es la fuerza que cae sobre los rodamientos.
½ *fw* - es la componente en y de la fuerza radial *fn*.
θ - es el ángulo entre la fuerza radial y el pe so de la silla de ruedas y el paciente.

Para calcular la fuerza radial máxima que deben aguantar los rodamientos establecimos que la masa máxima de un paciente en este protocolo será aproximadamente de 180 kg, y que la masa de la silla de ruedas usada para las pruebas es de 13.8 kg. Aproximamos el peso total de paciente-silla de ruedas a 200 kg para tener un margen más amplio y consideremos la aceleración gravitatoria en un valor aproximado de 10 m/s², entonces $fw \approx 2$ kN.

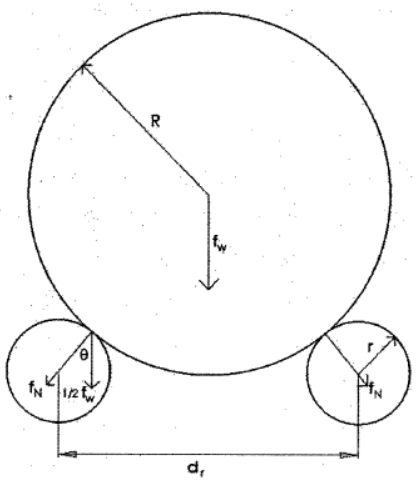


Fig. 4. Diagrama de sistema de fuerzas con la rueda de la silla sobre rodillos. [7].

Planteando el sistema:

$$f_n = \frac{1}{\cos\theta} * \left({}^1/_2\, f_W\right) \tag{5}$$

Sustituyendo en (5) se obtiene:

$$f_n = \frac{1}{\cos 13.5745°} * \left({}^1/_2\, 2000\right)\ \text{N}$$

$$f_n = 1028.737\ \text{N}$$

$$f_n \approx 1\ \text{kN}$$

Selección de sensores

Sensor de Torque

Se utilizó un torquímetro Honeywell Lebow, serie 1700, modelo 1703. Se eligió este modelo debido a que tiene una capacidad máxima de medición de 50 Nm. Rodgers et al. reportan un torque máximo promedio de 27 ± 9 Nm para los valores picos de fuerza y torque obtenidos durante un estudio de cinemática [8].

Para la implementación del torquímetro se diseñó una tarjeta para adquirir y procesar la señal obtenida, la cual es digitalizada por un ADC de 12 bits, con capacidad de señal de estrada de ± 10 V. La señal digitalizada del ADC es procesada por el Atmega168 y enviada a través del transmisor-receptor asíncrono universal (UART por sus siglas en inglés) del mismo a un transmisor inalámbrico Xbee®.

Para acoplar el sensor al eje de la rueda fue necesario crear una base que tuviera movimiento en tres ejes y así adaptarse a cualquier forma y dimensiones de silla de ruedas. Una barra en *Z* permitió que el vástago del torquímetro se uniera a la rueda de la silla y además estuviera totalmente alineado al centro de la misma. La Fig. 5 muestra dicha implementación.

Fig. 5. Torquímetro alineado al centro de la rueda.

Para medir el torque que aplica el paciente se colocó el torquímetro acoplado al aro de propulsión de la rueda. Dada la naturaleza torsonial del sensor, fue necesario darle una referencia, es decir, frenar el otro extremo del vástago con una fuerza similar a la resistencia al giro que da el peso del paciente sobre el sistema. Para ello se hizo una adaptación de un freno de disco al vástago del torquímetro. Adicionalmente se implementó una celda de carga al freno para poder obtener un valor de voltaje de salida para la fuerza de frenado aplicada. La Fig. 6 muestra el ensamble de de dicha pieza.

La alineación del torquímetro se realizó utilizando la pieza de tres ejes móviles y un grado de libertad rotacional diseñada para este fin, visible en las Fig. 5 y Fig. 6.

Fig. 6. Sistema de freno para torquímetro.

Sensor de Velocidad

Para obtener un valor de velocidad fue necesario implementar un sensor de Efecto Hall. Dicho sensor está acoplado al disco de frenado del torquímetro ya que la velocidad de la rueda trasera de la silla de ruedas es la misma que existe en este elemento. El sensor es un switch de efecto Hall Allegro (A1101LUA). Al disco de frenado se agregó un imán de tierras raras para activar el sensor. La Fig. 6 muestra el circuito implementado. La salida del sensor es un pulso TTL y es enviada a una de las entradas digitales del AVR atmega168.

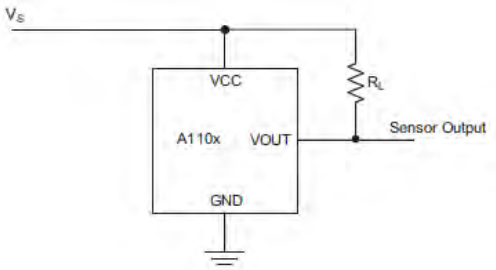


Fig. 6 Circuito del sensor. Con R_L=1kΩ y V_s=3V.

Sincronización

Se usó un sistema de switch abierto instrumentando un guante y el aro de la rueda con malla de cobre que al hacer contacto se cierra indicando que se encuentra en fase de ataque. De esta manera se obtuvo un pulso TTL, el cual pasa por filtros pasivos RC para eliminar ruido de la señal, esto genera un pulso en alto durante la fase de impulso. La salida del circuito se conecta a un micro controlador AVR, el cual procesa la información para transmitirla por medio de radio frecuencias usando un modulo Xbee® a una PC.

Diseño electrónico.

La Fig. 7 muestra esquemáticamente el diseño de la implementación electrónica usada para los diferentes sensores.

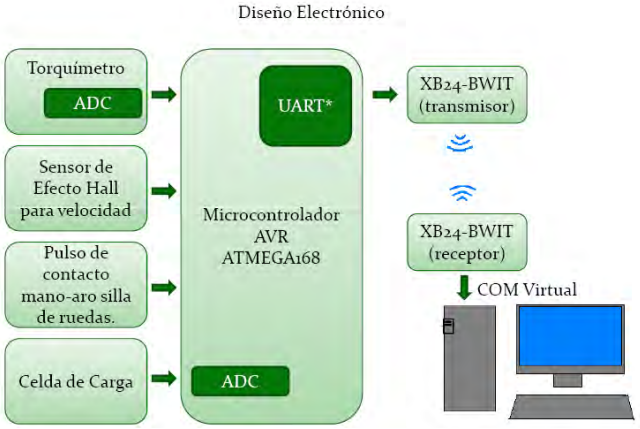


Fig. 7 Diseño electrónico.

Pruebas al ergómetro

El dispositivo se probó con sujetos sanos propulsando intervalos de 30 segundos por prueba. La alineación del torquímetro se realizó utilizando la pieza de tres ejes móviles y un grado de libertad rotacional diseñada para este fin.

Resultados

Se definieron dimensiones máximas de 2 m de largo, permitiendo una rampa de acceso de 1m que describe un ángulo de acceso de 6.8°, lo cual cumple con la norma. El ergómetro tiene 1.1 m de ancho lo cual asegura que aún sillas grandes en el mercado (de ancho aproximado de 67cm) pueden utilizar el dispositivo. El diseño

construido cuenta con rampa de acceso, rodillos para giro de las ruedas traseras, base de sustentación pinzas de seguridad y sistema de sensado de torque y velocidad (Figs. 5, 6 y 8).

Fig. 9. Diseño entregado.

El sistema de sujeción implementado permite que el usuario realice sin problemas la propulsión y evita la traslación sobre los ejes ya sea hacia el lado dominante o hacia el lado de alguna rueda con diferente presión de inflado.

El acople del sistema de sensado de torque cumple con las características de alinear el torquímetro al eje de la silla de ruedas. Esto permite la adquisición en tiempo real del torque que prevalece en el rotor de la silla de ruedas. Adicionalmente el sistema de frenado asegura que exista una relación coherente entre el peso del sujeto y la referencia dada al torquímetro.

Fig. 10. Gráfica obtenida del ángulo entre el respaldo de la silla y el brazo control.

Se realizaron pruebas al sistema de sincronización con sensores inerciales Xsens® (Fig. 10) y pudo observarse que presenta una coincidencia con el ángulo de ataque del sujeto por lo que es buen indicador del inicio de la fase propulsiva.

Discusión y Conclusiones

El ergómetro construido cumplió con las características propuestas ya que permite reproducir el gesto motor de la propulsión en condiciones controladas. El prototipo construido presenta varias ventajas sobre los desarrollados por otras instituciones. Por ejemplo, su diseño y dimensiones permiten que el dispositivo sea desmontable en su totalidad para almacenamiento o transporte.

El dispositivo implementado para lograr la medición de torque en la rueda brinda la posibilidad de hacer un análisis físico del movimiento a partir de métodos matemáticos, ofreciendo una manera relativamente más sencilla y menos costosa de análisis [6].

A diferencia de otros trabajos y dispositivos, el presente proyecto permite realizar estudios sobre la silla de ruedas del propio paciente. Esto representa la posibilidad de realizar mediciones que lleven a un diagnóstico más personalizado ya que se considera la goniometría particular y la física del sistema de locomoción, la silla de ruedas, en un mismo estudio.

La descripción completa del movimiento de propulsión requiere de una relación matemática entre el torque percibido en la rueda y las articulaciones de miembro superior. Este proceso de análisis matemático se conoce como dinámica inversa. A partir de los valores de torque, velocidad y aceleración obtenidos por el sistema de sensado en las ruedas es posible realizar este proceso matemático con ayuda de sistemas de medición de goniometría.

Junto con los sistemas de medición de goniometría y electromiografía, este ergómetro permitirá el diagnóstico de riesgos de lesión del miembro torácico de usuarios de silla de ruedas, así como la descripción fiel y completa del gesto motor de la propulsión para evaluar y prescribir la silla adecuada para cada paciente, además de otras aplicaciones con fines de investigación o académicos.

Queda como trabajo futuro la optimización del diseño pudiendo agregar un sistema de volantes de inercia o un motor controlado que permita la simulación de diferentes resistencias, ampliando así las posibilidades de estudios e investigación, por ejemplo en el área de deporte adaptado.

El proceso de diseño y desarrollo tecnológico es bastante complejo. Es importante estar bien documentado sobre las técnicas y fenómenos sobre los cuales se va a trabajar, sin embargo lo realmente primordial es comprender la naturaleza de los elementos a desarrollar. Este entendimiento permite modificar el diseño en el transcurso del desarrollo para adaptarse a nuevas necesidades u obstáculos.

Este proyecto pone un precedente dentro del campo de la rehabilitación e investigación en el país y en América Latina al ser una herramienta precursora en el análisis de movimiento de los usuarios de silla de ruedas.

Reconocimientos

El presente trabajo forma parte del proyecto patrocinado por el Fondo Sectorial para la Investigación en Salud y Seguridad Social: CONACyT-SALUD-2007-01-71035.

Referencias

[1] Jennifer L. Mercer, Michael Boninger, Alicia Koontz , Dianxu Ren,Trevor Dyson-Hudson, Rory Cooper, “Shoulder joint kinetics and pathology in manual wheelchair users”. *Clinical Biomechanics,*Vol 21, pp 781-789, 2006.

[2] J.D. Hastings, E.R Fanucchi,, S.P. Burns. “Wheelchair Configuration and Postural Alignment in Persons With Spinal Cord Injury”. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol 84, No. 8, pp 528-534, Abril 2003.

[3] G. Dwyer, R. Davis.”The relationship between a twelve minute wheelchair push test and VO2peak in women wheelchair athletes”, *Research in Sports Medicine*, Vol 8, No.1 pp 1-11, 1997.

[4] H.E.J. Veeger, L.A. Rozendaal, F.C.T. van der Helm. “Load on the shoulder in low intensity wheelchair propulsion” *Clinical Biomechanics,*Vol 17, pp 211-218, 2002.

[5] Ivett Quiñones Urióstegui, “Propuesta de proyecto para Internado, Proyecto Terminal, o Trabajo de Titulación.” Instituto Nacional de Rehabilitación, División de Investigación Tecnológica, Laboratorio de Análisis de Movimiento. México 2010.

[6] Imen Khelia “Étude Biomécanique de la Propulsion du Fauteuil Roulant Manuel par les Personnes Âgées Souffrant Ou Non de Douleurs D´Épaules”, Docteur, tesis, École Nationale Supérieure d´Arts & Métiers Centre de Châlons en Champagne. Tesis, Francia 2003.

[7] Benjamin W. Su “Wheelchair Exercise Roller Product Design”. Bachelor of Science, Tesis, Department Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology. Junio 2005.

[8] M. Rodgers, J. McQuade, E. Rasch, R. Keyser, M. Finley . “Upper-limb Fatigue-related Joint Power Shifts in Experienced Wheelchair Users and Nonwheelchair Users” Journal of Rehabilitation Research and Development, Vol. 40, No. 1, pp 27-38, Enero/Febrero 2003.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 32. Volumen 4(1), 6 páginas.

MANUFACTURA DE BANCAS DE JARDIN POR FUNDICIÓN DE ALUMINIO (MANUFACTURING OF GARDEN BENCH BY ALUMINIUM CASTING)

Marco Antonio Doñu-Ruíz[1], Noé López Perrusquia[1], Y. Reséndiz Solis[3], Víctor Jorge Cortéz Suárez[2], J. D. Villegas Cárdenas[3], David Sánchez Huitrón[3].

Resumen

El presente trabajo realiza el diseño y proceso de fabricación de una banca arquitectónica de aluminio para una pequeña y mediana empresa PyMES de *Muebles Arquitectónicos de Aluminio*. Se empleó la metodología de diseño, y de acuerdo a las etapas, se establecieron los requerimientos y especificaciones del cliente, según normas UNE 11010:89, UNE 11020-2:92, UNE 1022:55. La generación del diseño del prototipo se realizó en el programa de CAD (Dibujo Asistido por Computadora) *Solidwork 2010*, y la manufactura del prototipo fue realizada por fundición de aluminio en molde de arena verde. Por consiguiente, para el ensamble se prepararon moldes de cada uno de los elementos que componen la banca de jardín diseñados por CAD, empleando como material el poliestireno, posteriormente se utilizó la manufactura convencional para el acabado de cada uno de los elementos arquitectónicos y detalles estéticos. Finalmente se obtiene una banca de jardín bajo los requerimientos del cliente, buscando la mejora en costos competitivos y calidad en el mercado.

Palabras clave: Fundición, Banca de Jardín, Arquitectónicas, PyMES.

Abstract

This presents work make the design and manufacturing process of an architectural aluminium bench for PyMES (Pequeña y Mediana Empresa by its Spanish acronym) of the *Muebles Arquitectónicos de Aluminio*. We used the design methodology, according to the stages was established: the requirements and specifications of the customer, standards UNE 11010:89, UNE 11020-2:92, UNE 1022:55 and the generation of the prototype designe was conducted in the CAD program (Computer Aided Drafting) SolidWork 2010, (CAD, Drawing Computer Aided), and manufacturing of the prototype was made by cast aluminum green sand mold. Therefore, for the ensemble casts were made of each of the elements of the garden bench designed by CAD using polystyrene material, then conventional manufacturing for surface dressing of each of the elements architectural and aesthetic details. Finally we obtained a garden bench under the requirements of the customer, looking for improvement in cost, quality and competitive in the market.

Keywords: Aluminium, Garden Bench, Arquitectural, PyMES.

Introducción

Las empresas manufactureras han sido objetos de cambios y transformaciones, resultado de la competitividad por mantener y mejorar la posición en el mercado, con el fin de mejorar la calidad del producto, reducir tiempos de desarrollo y costos para mantenerse en el mercado. En la industria la fundición es muy importante para construcción de maquinas e infinidad de piezas en distintos tamaños y formas, basados en el diseño industrial, diseño mecánico de los cuerpos sólidos y fluidos [1]. La PyME con nombre *Muebles Arquitectónicos de Aluminio* fabrica muebles arquitectónicos por fundición de aluminio, en la actualidad elabora bancas de jardín los cuales son destinados a mercados locales, asimismo lleva a cabo proyectos para competir en el mercado.

[1] Instituto Politécnico Nacional. Adolfo López Mateos, SEPI-ESIME- Zacatenco. México.D.F. 07738. México. E-mail: mdonur0800@ipn.mx

[2] Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Área de Ciencia de los materiales, Av. San Pablo 180, Azcapotzalco 02200, México .D.F.

3 Universidad Politecnica del Valle de México, Grupo Ciencia e Ingeniería de Materiales, Av. Universidad Politécnica, Col. Villa Esmeralda, C.P. 54910, Tultitlán, Estado de México.

La tecnología a la vanguardia automatiza el diseño y crea un mejor producto, pero la tecnología tiene que ser lo suficientemente maduros como para ser utilizado en el diseño de un producto. Diseño Asistido por Computadora (CAD), Manufactura Asistida por computadora (CAM), y la ingeniería asistida por computadora (CAE) se han utilizado ampliamente en la industria, y es de gran alcance para las comunicaciones del equipo de diseño y generar rápidamente el diseño de productos nuevos e innovadores para satisfacer las especificaciones requeridas.

Existe en el mercado una gran gama de modelos de bancas de jardín producida por diversos materiales tales como; plástico (PVC Policloruro de vinil) teniendo estas desventajas en sus propiedades y uso, el hierro fundido es un material demasiado pesado pero a su vez cuenta con una solidez, pero con respecto al acero son más pesadas que las de aluminio pero definitivamente más livianas que las de hierro y las de madera son también atractivas y siendo éstas opción natural, sin embargo las de aluminio suelen ser en estilos y diseños mucho más modernos y la ventaja que tiene este material es que es de buena calidad, alta ductilidad, ligero y resistente a la corrosión [2].

El presente trabajo se enfoca al diseño industrial de una banca de jardín para una PyME, basado en la metodología de diseño con el fin de obtener el máximo beneficio del proceso de fabricación, se participa en las actividades del diseño del producto y proceso de fabricación. El proceso se inicia a partir de los requerimientos y especificaciones del clientes con el fin de mejorar el producto, los requisitos de costo del producto, el ciclo de vida y el medio ambiente también son considerados, se auxilió con el programa de diseño asistido por computadora CAD y para la fabricación se realizo la manufactura por fundición de aluminio logrando con ello mejorar la producción, calidad, reducir costos de producción, tiempo de fabricación y demás costos indirectos, obteniendo así una optimización de la producción del producto final.

Desarrollo experimental

La metodología para el diseño del producto descrito por [3,4]. La calidad, el costo de fabricación y el tiempo necesario para desarrollo del mismo, depende del método que se sigue durante el proceso de diseño. En la primera etapa, se definió la misión del proyecto y plan de calidad, el equipo trabajó en una investigación de mercado para definir las necesidades y requerimientos del cliente, con base en las voces de los clientes QFD (despliegue de la función de calidad), los requisitos de la función fueron clasificados como: ligero y resistente, diseño estético y ergonómico, fácil de ensamble y acabados artesanales.

La selección de material para la construcción de la estructura para la banca, se realizó por partes; por fundición de aluminio y posteriormente manufactura convencional. Para el producto se consideró el peso, resistencia a la corrosión, el costo, resistente y estética con acabados artesanales. Para determinar qué tipo de materiales se utilizarán para la banca de jardín, se realizó una comparación entre la madera, acero y el aluminio. En la segunda etapa, se genera y evalúa los conceptos, el diseño del prototipo se realizó empleando el programa de CAD *SolidWork 2010* y finalmente en la tercera etapa se establece el diseño de detalle determinando las dimensiones y diseño de la banca, siendo esto de manera ergonómica y con los requerimientos obligatorios establecidos bajo las normas UNE 11010:89, UNE11020-2:92 y UNE 1022:55.

Por otra parte en este desarrollo del producto; se llevo a cabo diseño para la manufactura bajo el conceptos de Huang que son DFM (Desing for manufacturing) y DFMA (Desing for Maintenance). Así mismo, se generaron los moldes de la banca empleando material de poliestireno expandido (EPS) de cada una de las partes que integran la banca de jardín y la manufactura se realiza por fundición de aleaciones de aluminio en molde de arena verde, una vez terminado el proceso de fundición se procede trabajar en el acabado superficial y estética de acuerdo a los requerimientos del cliente. Para la fabricación y montaje de los dispositivos, todas las partes de los dibujos de detalle del software CAD *Solidwork* se completa en esta etapa. El equipo trabajó en el taller de máquinas de la UPVM Tultitlan, en conjunto para seleccionar los métodos de fabricación y los parámetros del proceso. Los pasos de la iteración entre el diseño, proceso de fabricación y montaje proporcionan un puente entre las ideas de diseño a la realidad de la construcción de un producto, y asegurar que el producto cumpla con las especificaciones, siendo un proceso iterativo se muestra en la Fig. 1[5].

Resultados y discusiones

En la generación de conceptos se realizó la evaluación del diseño de la banca con los requisitos y restricciones del cliente, y requerimientos obligatorios de la banca, en la Fig. 2 se muestra el diseño del prototipo final realizado en el programa *Solidworks 2010* de la banca para el proceso de fabricación y producción.

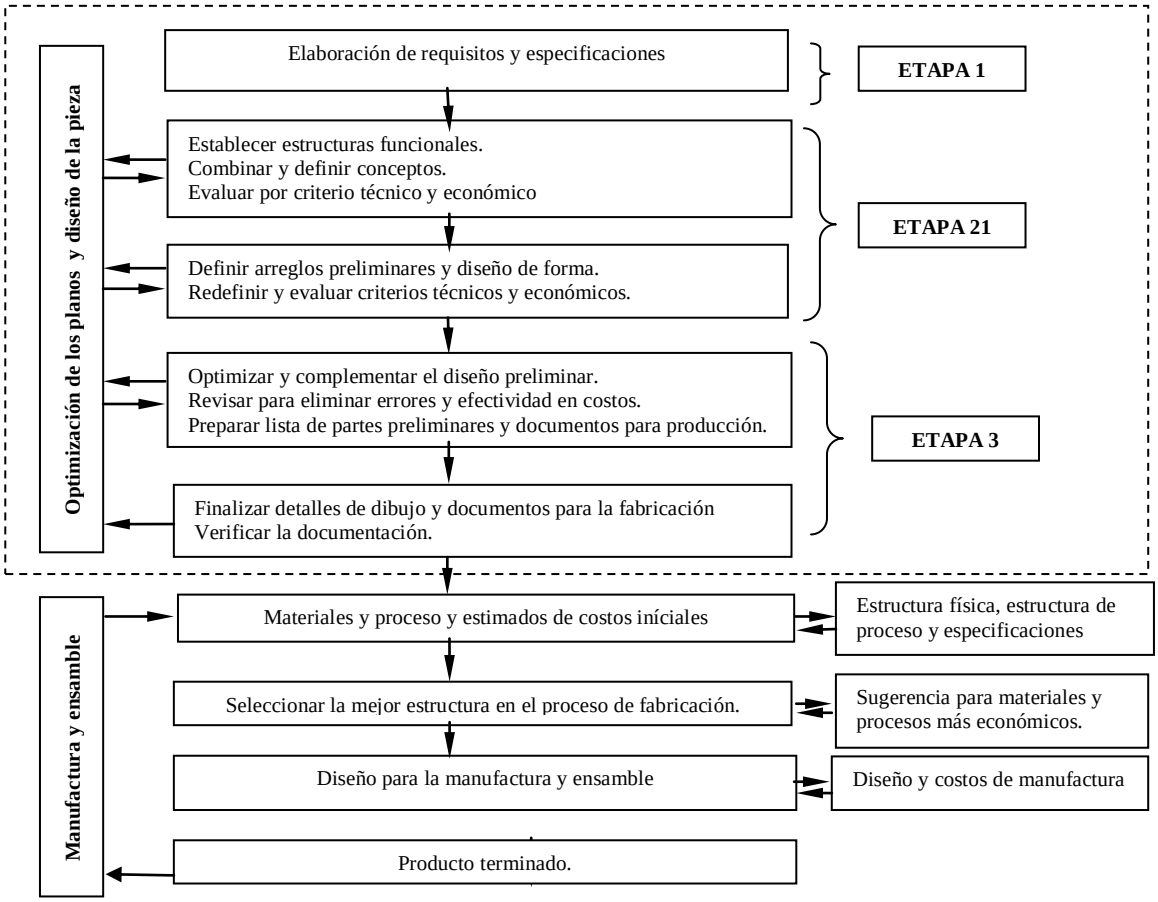


Fig. 1. Metodología de diseño y proceso DFM-DFMA para obtención del producto final.

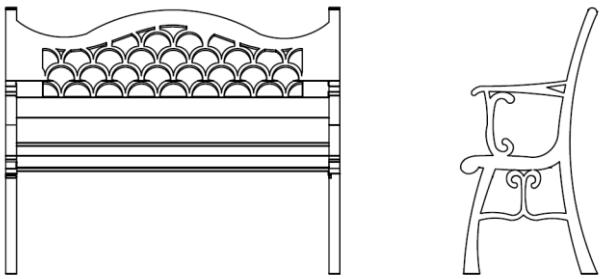


Fig.2. Diseño de la banca de jardín con el programa CAD SolidWork 2010.

Los requerimientos obligatorios establecidos por las normas de ergonomía para bancas, las cuales nos proporcionaron las dimensiones permisibles en cuanto a la ergonómica de la pieza, ya que de esta forma se logra un acabado de forma veraz: la Norma de muebles UNE 11010:89; Norma dimensional de las bancas UNE 11020-2:92; Norma para la ergonomía en las bancas UNE EN 1022:05; asimismo se tomo el estándar de las personas para determinar las posiciones permisibles para esta banca, se debe plantear las posiciones que han de tomar los brazos, antebrazos y muñecas.

La generación de moldes son herramientas principales de las que se valen los fundidores para hacer las piezas de fundición, siendo esta una réplica de la pieza que se desea obtener, el cual son modelos perdidos que no son reusables como moldes al finalizar el proceso de moldeo de una pieza. En la Fig. 3.b se presenta el prototipo en molde perdido de elementos de los brazos de la banca.

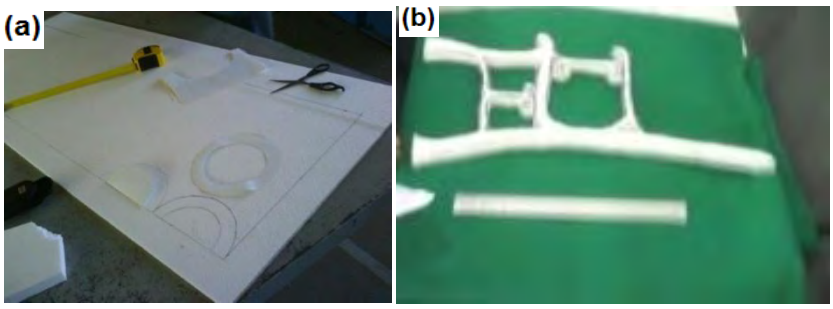


Fig. 3. a) Moldes perdidos fabricados de material de poliestireno, b) molde de soportes de la banca, Laboratorio de Metrología UPVM.

Para el ensamble de cada uno de los elementos de la banca, los moldes en verde se realizaron: primero obtener el par de soportes de la banca, posteriormente se obtuvo la banca y finalmente el respaldo como se observa en la Fig. 4. En cada uno de los moldes para cada elemento se realizo el molde manual, así mismo colocando el sistema de alimentación y mazarotas para el vaciado del metal; el metal utilizado fue una aleación de Al-Si con temperaturas de vaciado de 730°C [6,7].

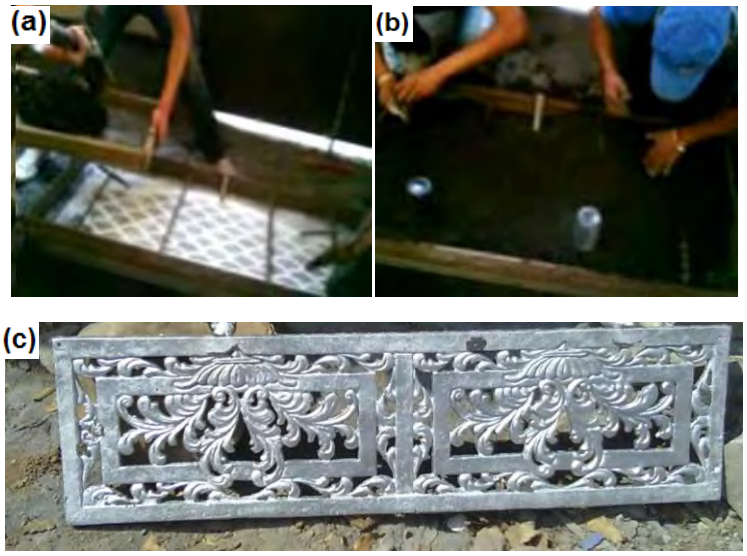


Fig. 4. Proceso de manufactura por fundición de aluminio a) realización de moldeo manual en arena verde, con el molde perdido para el respaldo de la banca, b) empleo de mazarota para vaciado del metal y c) banca de aluminio.

Por consiguiente, se obtienen los brazos como se muestra en la Fig. 5(a) al termino del vaciado del metal en los moldes; se solidifica el material durante 10 minutos de los moldes perdidos. En la figura 5(b) se presentan los elementos de la banca de jardín para la manufactura convencional para establecer un buen acabado superficial de las piezas después de la fundición.

Finalmente, en la Fig. 6 se muestra el producto final de la banca arquitectónica; en la actualidad los productos y/o servicios que ofrecen las empresas, son para satisfacer las necesidades y deseos de consumidores actuales o potenciales, el cual enfrentan intensa competencia tanto a nivel nacional. Así mismo, el presente prototipo de banca generado a buscar diferenciar productos y servicios, y ser competente en el mercado; pero al mismo tiempo tratar de responder a una preocupación creciente por proteger al medio ambiente mediante la selección de procesos de fabricación y materiales que sean sustentables [8-10].

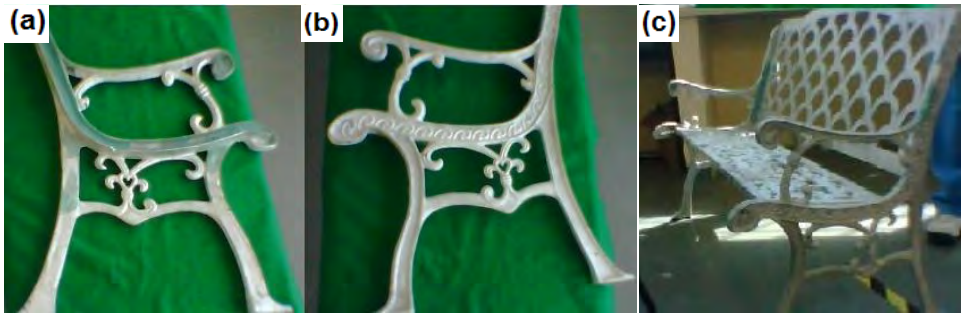


Fig. 5. Proceso de Acabado a) brazos de la banca del jardín y b) ensamble de los elementos de la banca de jardín.

Fig. 6. Producto final banca de Jardinería, microempresa Muebles Arquitectónicos de Aluminio.

El crecimiento de la tecnología se ha podido avanzar bastante en el tema de la manufactura hasta el punto de poder hacer todo el proceso desde la adquisición básica del diseño de la pieza hasta la fabricación de la pieza funcional. Sin embrago, se debe tomar en cuenta que este crecimiento se debe al mercado manufacturero en PyME que siguen siendo la parte de la solides Industrial-Sociedad en bien común. Es interesante saber que también se está automatizando la planeación del proceso. Siendo de manera vital para disminuir los tiempos de manufactura.

Conclusiones

El proyecto de la banca arquitectónica se realizó aplicando la metodología de diseño, y el diseño para la manufactura en relación con los procedimientos de fabricación, concepto de prototipo, modelo de ingeniería, modelos especiales y los nuevos requerimientos de productos comerciales para la microempresa y satisfacción de las necesidades al cliente.

La selección de un material es fundamental debido a sus propiedades físicas, su aspecto exterior, costo y factibilidad la fabricación y maquinado, la selección de los procesos de manufactura para el producto debe ser de tal suerte que con ello se obtenga la necesaria exactitud, rugosidad y económico para el ensamble.

Fundamentalmente el desarrollo de este producto está en la competitividad en el mercado local de mueblería de jardinería para la microempresa *Muebles Arquitectónicos de Aluminio,* que puede verse como la integración de ciertas características que permiten a la microempresa obtener una ventaja competitiva en el mercado. Cada característica necesita de diferentes herramientas y métodos de manufactura, estos presentan diferentes niveles de complejidad y de condiciones de utilización en base a las características del cliente.

Reconocimientos

Se agradece al CONACyT y al C. López Salazar*, "Muebles Arquitectónicos de Aluminio",* por las instalaciones para llevar a cabo este producto y para la producción de bancas de jardín en el mercado local.

Referencias

[1] Jean, Jaques La Faye Hardcover, *Manufactura justo a tiempo. Un enfoque práctico, México y Continental*, 2007.

[2] American Foundrymen's Society, *Aluminum Casting Technology*, 2a ed., AFS inc, Des Plaines, IL (EE.UU.), 1993: 145-166.

[3] David G. Ullman, The mechanical Design Process, 3er Edition McGraw-Hill1994

[4] Magrab, E.B., Integrated Product and Process Design and Development, 1997, CRC press.

[5] C. Luna Amaya, A. Carmelina Mendoza Bayuelo, *Metodología para mejora la ingeniería de producto/proceso basado en ingeniería concurrente, ingeniería y desarrollo*, numero 016, universidad del norte barranquilla, colombia pp. 56-69

[6] American Foundrymen's Society, *Casting Buyer's Guide*, Ia ed, AFS inc, Des Plaines, IL (EE.UU.), 1988: 44-64.

[7] Taguchi, G. *Introduction to quality engineering: Designing quality into products and processes, Asian Productivity Organization*. (1988),

[8] Rodríguez Martínez, Jorge (2001), "*Visión general del tema de la calidad y el diseño industrial (con un enfoque japonés)*", UAM-Azcapotzalco, ISBN 970-654-080-6, México DF.

[9] Rodríguez Martínez, Jorge (1999), "*Despliegue de la función de calidad*", *Anuario 1999 Grupo de Administración para el Diseño*, UAM-Azcapotzalco, México DF. Pág. 20-29.

[10] Asociación de la Industria de Navarra (1991), *Calidad en el Área de Diseño,* Editorial Díaz de Santos, Madrid.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 38. Volumen 4(1), 8 páginas.

OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO CON MATERIA PRIMA RECICLADA Y SU EVALUACIÓN CON EL ENSAYO DE IMPACTO

Jesús Vicente González Sosa[1], Arturo Barba Pingarrón[2], Marcos Santillán Gómez[3], Elizabeth Flores Aguilar[3]

Resumen

El presente trabajo muestra la investigación relacionada directamente con materias primas recicladas para la generación de un material compuesto con características similares a los materiales de ingeniería, en el ámbito plástico. Para el desarrollo del material compuesto se parte de la combinación de plástico (PP) con madera (aserrín), con los cuales se obtienen muestras para la evaluación mecánica de este material nuevo. Para dar inicio a este trabajo previo a la experimentación, se obtienen muestra de aserrín para su utilización de acuerdo a la separación de este para lograr un control específico en las fibras a utilizar en la combinación con el plástico reciclado que para este caso en particular se utiliza polipropileno con fluidez inicial de 12. De acuerdo a las condiciones propuestas se han logrado buenos resultados en el ensayo de impacto y ello se ha comprobado con los datos directos de materiales reciclados tanto de plástico como de madera, en donde se han logrado mejoras de un material compuesto virgen en relación con materia prima reciclado de alrededor de un 10 a 15 % de mejoras de acuerdo al tamaño de aserrín.

Palabras clave: Compuesto, reciclados, composición, materia prima.

Abstract

This paper shows the research directly related to recycled materials for the generation of a composite material similar to materials engineering plastic in the area. For the development of composite material is part of the combination of plastic (PP) with wood (sawdust), with which samples are taken for mechanical testing of this new material. To start this work prior to experimentation, the sawdust sample obtained for use acoording to the spin-off to achieve a particular control on the fiber used in combination with recycled plastics for this particular case uses initial fluidity polypropylene 12. According to the proposed conditions have been successful in the impact test and this has been proven with direct evidence of recycled materials as plastic or wood, where improvement have been made of a composite material in relation to virgin material recycled premium of about 10 to 15% improvement according to the size of sawdust.

Keywords: Composite, Recycled Composition Material.

Introducción y métodos

La metodología a seguir para el desarrollo de este trabajo con material compuesto y el ensayo de impacto se lleva a cabo de la siguiente manera:

1. Adquisición de materia prima (aserrín, polipropileno).
2. Selección del aserrín.
3. Mecanizado de moldes para las probetas estandarizadas.
4. Obtención del material compuesto de forma homogénea.
5. Fabricación de las probetas.
6. Selección de las probetas para la realización del ensayo mecánico denominado impacto.

[1] Posgrado de Ingeniería UNAM, Av. Universidad # 300, México D.F., 56223008 ext.141.
E-mail: jesus.gonzalez@comunidad.unam.mx
[2] Centro de Ingeniería de Superficies y Acabados (CENISA), México.
[3] Facultad de Ingeniería UNAM, Av. Universidad #3000, México D.F. E-mail: santillan.marcos6@gmail.com

7. Realización del ensayo.
8. Análisis de resultados.
9. Conclusión.

Adquisición de materia prima (aserrín-PP).

En primer lugar se obtiene la materia prima reciclada, de la cual la madera en forma de aserrín se obtiene directamente de las madererías que trabajan con pino mexicano, en segundo lugar se utiliza polipropileno de productos que no pasan los estándares de calidad como producto terminado y de ahí se logra captar este material de suma importancia para el material, en la figura 1 se muestran las materias primas mencionadas.

En la Fig. 1 se aprecian los dos tipos de materiales que se utilizan para generar el compuesto y que posteriormente se evalúa con ensayos mecánicos.

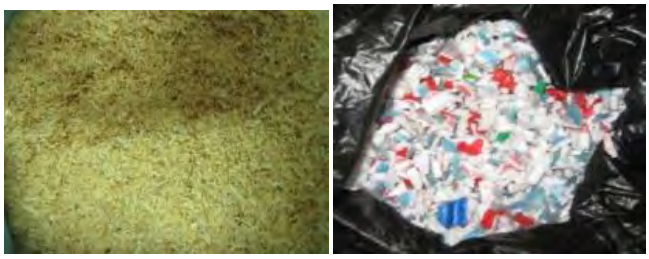


Fig.1. Materia prima (aserrín-PP)

Selección del aserrín.

Para la selección del aserrín se consideran normas para realizar la separación del aserrín en diferentes tamaños y con ello controlar la geometría de este material para su adherencia con el material plástico, para ello se consideran la Tabla 1 con los tipos de mallas para el aserrín de este caso específico.

En la Tabla 1 se colocan los dos tipos de malla utilizados para generar la separación adecuada del aserrín y con ello controlar las condiciones necesarias del aserrín para su tratamiento posterior.

Mecanizado de moldes para las probetas estandarizadas.

A la par de la selección de material de madera se inicia con la fabricación del molde para el ensayo mecánico de impacto, que se utiliza para la evaluación correspondiente a un material compuesto de material reciclado.

Se realiza la fábrica del molde que se utiliza para la generación de la probeta, que se muestra en la figura 2. Habrá que recordar que la probeta que se obtiene con este molde se encuentra estandarizada bajo norma específica del ensayo de impacto.

En la Fig. 2 se aprecia de una manera superficial la complejidad del molde, debido a que por lo mencionado anteriormente se establecen los estándares para generar este tipo de moldes, el cual se utiliza con una máquina de inyección manual.

Tabla 1. Tipo de malla

No.	Malla
1	30
2	40

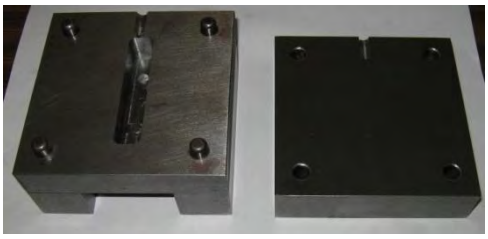


Fig.2.Molde para probeta de impacto

Obtención del material compuesto de forma homogénea.

Posteriormente se realizan combinaciones controladas homogéneamente para logra un material compuesto con características específicas que permiten compararlas entre si y considerarlas de tal forma que los resultados sean considerados aceptables comparándolos con los resultados que arrojan los ensayos mecánicos en el material plástico de forma virgen.

La combinación de los materiales, tanto de plástico como de aserrín, queda de la siguiente manera, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición del material compuesto

MATERIAL COMPUESTO	
Plástico [%]	Madera [%]
90	10
80	20
70	30
60	40

En la Tabla 2 se tienen descritos los porcentajes que se utilizan para la generación del material compuesto, de las cuáles se realizan los ensayos de impacto para establecer cuáles de estas composiciones se encuentran con un apropiado resultado de absorción de energía para tener una aplicación determinada.

En la Fig. 3 se colocan las composiciones a utilizar en el proceso de extrusión. Sin perder de vista los tipos de malla a utilizar; malla 30 y malla 40. Como ya se había mencionado con anterioridad, esto se considera de esta manera para obtener la mejor estructura de las probetas en relación a la composición tanto del aserrín como del polipropileno.

Fig. 3. Composiciones PP-A

Fabricación de las probetas.

Para la fabricación de las probetas se tienen que llevar a cabo dos procesos de transformación de materiales plásticos, los cuales son extrusión e inyección, en la figura 4 se muestra en forma de diagrama secuencial, esta parte de la metodología.

La Fig. 4 muestra la secuencia óptima para homogenizar el aserrín con el polipropileno y posteriormente llevarlos a la inyección.

En el primer caso, extrusión, se realiza la extrusión para generar la homogeneidad en la materia prima, ya que al utilizar los materiales sin este proceso provoca que en algunas de las secciones de la probeta no existe el aserrín.

Fig.4. Secuencia de procesos para el material compuesto.

En el segundo caso se utiliza el proceso de inyección para obtener físicamente las probetas y con ello seleccionar cada una de las piezas para ser evaluadas en la sección correspondiente.

En la Fig. 5 se muestran algunas de las probetas estandarizadas, correspondientes a las composiciones ya mencionadas tanto de pp como de aserrín.

Fig.5. Probetas para el ensayo de tensión

Estas probetas se obtienen por el proceso de inyección de las cuales, las siguientes (Tablas 3) muestran la cantidad de piezas para cada composición prevista dentro de la evaluación mecánica.

En la Tabla 3 se consideran 4 factores importantes para el manejo adecuado de las probetas en los ensayos de impacto que se realizan, en este caso a 35 piezas de cada composición y correspondientes a cada tipo de malla, 30 y 40. Igualmente es necesario considerar una cantidad de piezas abundante para conseguir resultados satisfactorios al momento de generar las estadísticas para este material compuesto se fabricaron 350 piezas para cada malla.

Tabla 3. Cantidad de probetas a evaluar

PROBETA (PP-Aserrín)	MALLA No.	MALLA No.	CANTIDAD-EVALUADAS
90-10 [%]	30	40	50-35
85-15 [%]	30	40	50-35
80-20 [%]	30	40	50-35
75-25 [%]	30	40	50-35
70-30 [%]	30	40	50-35
65-35 [%]	30	40	50-35
60-14 [%]	30	40	50-35

Selección de las piezas para el ensayo de impacto.

En la selección de las piezas uno de los factores sobresalientes es la temperatura con la cual se fabricaron las piezas, ya que ello permite controlar de una manera muy general la calidad de las probetas. En la Tabla 4, se colocan datos recabados de las temperaturas manejadas en las probetas ya mencionadas del material compuesto de plástico y madera (aserrín). De la Tabla 4 y algunos otros datos recabados en la fabricación de las probetas y los resultados de las temperaturas se realiza otra Tabla 5 que muestra los datos en forma de promedio para lograr estandarizar la temperatura de manejo en las probetas de impacto de este material compuesto.

Tabla 4. Temperaturas en las probetas

10% Aserrin-90%PP	
Ti	Tf
140	50
139	42
145	47
144	60
145	70

Tabla 5. Promedios de temperaturas.

Promedio Total	
Ti	Tf
144	62.76

En la Tabla 5 se encuentran los resultados en forma de promedio que se logro obtener después de conformar las 750 probetas en el proceso de inyección de plásticos, y se aprecia que la temperatura que se espera manejar para este material compuesto, de acuerdo a las características definidas con anterioridad, es de 144°C, durante todo el proceso.

Ensayo mecánico, impacto.

El ensayo considerado para la evaluación de un material compuesto, para este caso en específico, con el cual posteriormente se encontrara la aplicación del compuesto es el ensayo mecánico denominado de impacto.

Este ensayo se lleva a cabo con un equipo llamado Máquina del Ensayo Charpy, el cual da como resultado un valor que permite definir cuanta energía necesita un material para absorber y asimismo generar su fractura en determinadas aplicaciones y que este ensayo se complementa con algunos más como lo es el de tensión, comprensión y dureza.

Sin duda en este parte del trabajo solo se utiliza el ensayo de impacto como un dato necesario para la evaluación correspondiente a un material compuesto con características importantes para generar una aplicación dentro de la ingeniería. Algunas piezas ensayadas son las mostradas en la Fig. 6, con una cantidad mínima de estas mismas. Estas probetas son seleccionadas de forma visual y a través de sistema de medición, en el cual cumplan con las medidas establecidas para su aprovechamiento durante el ensayo.

Fig. 6. Probetas para el ensayo de impacto antes del ensayo.

Es importante el considerar la geometría con la que se elabora esta probeta, que se maneja de acuerdo a la Fig. 7, que a continuación ilustra esta descripción.

En la figura 7 se observa una muesca en la probeta la cual tiene un ángulo de 45°, que esta estandarizada específicamente para este tipo de ensayo denominado Charpy. La muesca mostrada es la que permite que el ensayo se realice de forma adecuada y los resultados sean satisfactorios dentro de los rangos que se manejan para el ensayo.

Fig. 7. Muesca contenida en la probeta para realizar el ensayo de impacto.

Por otro lado, es necesario mencionar que este ensayo se realiza en condiciones restringidas para que se manipulen adecuadamente cada una de las probetas, recordando que son alrededor de 470 piezas a las cuales se les realizó en ensayo para la evaluación correspondiente. Las probetas después del ensayo se encuentran de la siguiente manera, de acuerdo a la Fig. 8, en la que se aprecia la probeta a la cual se le aplicó el ensayo de impacto en donde la temperatura a la cual se maneja esta probeta es al ambiente.

Fig. 8. Probeta después del ensayo de impacto.

Análisis de resultados.

Los resultados obtenidos durante el ensayo de impacto son los siguientes, los cuales se toman en forma resumida, los cuales se muestran en la Tabla 6.

En dicha tabla se muestra que el resultado más predominante lo mostró la probeta con un contenido de aserrín del 20%, seguido de aquel que contiene un 60% de PP y la probeta que menos energía requiere es la comprendida para 65% de polipropileno y 35% de aserrín.

También podemos observar que de acuerdo al resultado que muestra la probeta virgen (reciclado), se tiene una mejoría de alrededor del 48% y la de menor porcentaje es de 4%.

Tabla 6. Resultados del ensayo de impacto

PORCENTAJE	ENERGÍA [KJ/m^2]
100%PP	10.8
90%PP-10%AS	15.2
85%PP-15%AS	14.88
80%PP-20%AS	16.00
75%PP-25%AS	13.44
70%PP-30%AS	11.84
65%PP-35%AS	11.28
60%PP-40%AS	15.36

Con estos resultados se considera que la mejoría en relación al ensayo de impacto es importante, lo cual refleja que el material tiene una consistencia homogénea y con ello permite soportar mayor carga y absorción de energía antes de llegar a la fractura.

Además, para validar esta sección se realiza una visualización por medio de un microscopio óptico para apreciar cómo se encuentra unido en aserrín en relación con el material plástico, polipropileno. Esto se logra ver en la siguiente secuencia de fotografías de la Fig. 9.

Fig. 9. Unión de la fibra con el plástico en un aumento de 20X

En la figura anterior se observa de manera superficial cómo se encuentra el material después de ser fracturado y en donde se logra ver cómo están unidos los materiales ya mencionados que conforman el material compuesto.

Se tiene la Fig. 10 para apreciar más a fondo las probetas después del ensayo. En esta figura se logra observar cómo se encuentra adherida la madera con el material plástico, considerando que se tiene un 90% de polipropileno.

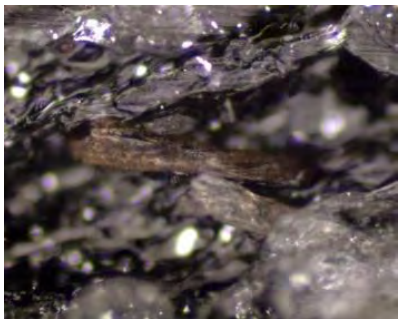


Fig. 10. Aumento de 20X.

Se tiene la Fig. 11, con un porcentaje más alto de material de refuerzo, aserrín. En la figura se muestra una probeta con un contenido de 70% de polipropileno y 30% de aserrín, en donde se logra captar que la combinación de los materiales es cada vez más homogéneo lo cual se logró deducir cuando se realizó el ensayo de impacto y se mostraron los resultados de este mismo.

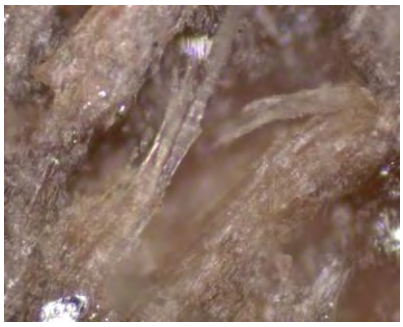


Fig. 11. Compuesto en un aumento de 20x.

Conclusiones.

Un porcentaje de aserrín, menor a los anteriores, por ejemplo 50-50, se pudo observar que el material generado después de la extrusión, no es adecuado, pues no permite obtener pelet de calidad adecuada.

Ha sido posible lograr un material de aspecto y características competitivas lo cual permite pensar en buscar y sugerir aplicaciones de ingeniería en un futuro.

Realizando comparaciones con trabajos con materiales semejantes, se puede afirmar que se han logrado resultados competitivos basándose en los resultados encontrados en las propiedades evaluadas.

En cuanto a impacto, que ha sido la característica que más ha sobresalido, se puede representar en la siguiente Tabla 7, como una forma de establecer futuras comparaciones.

Tabla 7. Resultado promedio del ensayo de impacto.

Jesús V. González	Ensayo Charpy
15.3[kJ/m2]	40% Aserrin-60%PP

La tabla anterior da como resultado el valor más representativo del ensayo de impacto generado para las probetas de este mismo ensayo.

Como parte de las conclusiones, cabe hacer mención que hace falta realizar más ensayos de impacto con diferentes características tanto en el polipropileno como en la madera, ya que ello permite enriquecer aún más este trabajo cuya finalidad es obtener materiales fabricados con productos reciclados o materiales reutilizables.

Por otro lado, las experiencias que ha dejado hasta el momento el proyecto son satisfactorios ya que se ha iniciado de la investigación para poder realizar trabajos de esta índole que benefician grandemente el desarrollo de este ámbito de trabajo dentro de las entidades de niveles superior y posgrados, ya que con estos trabajos se está creciendo en los sectores educativos y de investigación para encontrar en un futuro las aplicaciones tangibles de estos materiales compuestos.

Como dato importante la energía que requiere este material para fracturarse se puede modificar agregando una mayor cantidad de aserrín, pero ahora con un tratamiento diferente para aprovechar más sus propiedades mecánicas.

Por último, se está generando un grupo de trabajo en el ámbito de los materiales compuestos fabricados con materia prima reciclada, que se utiliza en el país y que tiene una mayor demanda en comparación con las diferentes materias primas conocidas para la aplicación en los compuestos.

Referencias

[1] David Harper, Michael Wolcott; Departament of Civil and Environment Engineering College of Engineering and Architecture, Washington State University. Interaction Between Coupling Agent and Lubricants in Wood-polypropylene Composites.

[2] Debes Bhattacharyya, Martyn Bowis, Krishnan Jayaraman; Center for Composites Research, School of Engineering, University of Auckland. Thermoforming Woodfibre-polypropylene Composite Sheets.

[3] Andrzej K. Bledzki, Omar Faruk; Institut für Werkstofftechnik, Kunststoff-und Recyclingtechnik, University of Kassel, Germany. Creep and Impact Properties of Wood Fibre-polypropylene Composites: Influence of Temperature and Moisture Content.

[4] Ana Espert, Francisco Vilaplana, Sigbritt Karlsson; Departament of Fibre and Polymer Technology, Royal Institute of Technology. Comparison of Water Absorption in Natural Cellulosic Fibres from Wood and One-year Crops in Polypropylene Composites and its Influence on their Mechanical Properties.

[5] A.K. Bledzki, M. Letman, A. Viksne, L. Rence; Institut für Werkstofftechnick, Universität Kassel, Monchebergstr Germany, Polymer Material Institute, Riga Technical University, Latvia. A Comparison of Compounding Processes and Wood Type for Wood Fibre-PP Composites.

[6] Andrzej K. Bledzki, Omar Faruk; Institut für Werkstofftechnick, Universität Kassel, Monchebergstr Germany. Injection Moulded Microcellular Wood Fibre-polypropylene Composites.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 39. Volumen 4(1), 7 páginas.

ETAPAS FUNDAMENTALES EN LA GENERACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS CON PRODUCTOS RECICLADOS

Jesús Vicente González Sosa[1], José Rodrigo Navarrete Posadas[2], Manuel Ramírez Alvarez[2]
Elizabeth Flores Aguilar[2]

Resumen

La investigación principal de este estudio es evaluar el comportamiento de los materiales compuestos de plástico-madera, en función de las proporciones en peso de los componentes y los efectos de la granulometría del material de refuerzo como parte fundamental que permita evaluar las posibilidades de su aplicación. Por otro lado, se considera adecuado contemplar todos estos datos, ya que ellos permiten fundamentar el comportamiento de estos materiales compuestos como elementos que en su momento han mostrado un creciente empleo dentro de la ingeniería. En la actualidad a nivel mundial, hay una creciente búsqueda de nuevos materiales, con propiedades mejoradas y de bajo costo. Hasta el momento se han generado avances en este sentido en compuestos mixtos plástico-madera (composites) de materiales reciclados. El uso de fibras o partículas de madera reciclada en compuestos mixtos poliméricos muestra ventajas porque son de de bajo valor económico, derivan de fuentes renovables y presentan baja densidad, experimentan poco daño durante su procesamiento y su disposición final como desecho que produce un pequeño impacto ambiental.
PALABRAS CLAVE: Comportamiento, composites, reciclada, renovables.

Abstract

The research of this study is to evaluate the behavior of plastic composite materials-wood, depending on the weigth ratios of the components and the effects of particle size of the reinforcing material as a fundamental part to asses the possibilities of its application. On the other hand, is considered appropriate to consider all these data, since they allow to base the behavior of these composite materials as elements in their time have shown an increasing use in engineering.Currently worldwide, there is a growing search for new materials with improved properties and low cost. Developments have led to this effect in mixed plastic-wood composites (composites) of recycled materials. The use of fibers or recycled wood particles mixed polymeric compounds are shown advantages because of low economic value, derived from renewable sources and have low density, experienced little damage during processing and final disposal as waste produced by a small environmental impact.
Keywords: Behavior, Composites, Recycled, Renewable.

Introducción

Desde el punto de vista mecánico, las fibras de madera poseen elevada rigidez y resistencia específica, además su procesabilidad es buena y su baja dureza la abrasión de los componentes de los equipos de fabricación. Algo importante de mencionar es el uso de las matemáticas, ya que la importancia de utilizar las matemáticas aplicadas a este tipo de proyectos son de gran utilidad, debido a que con ello se logra un porcentaje del 50% de la justificación para el desarrollo de un material compuesto, como se presenta en este trabajo.

[1] Posgrado de Ingeniería UNAM, Av. Universidad #3000, México D.F. Tel. 56223008 Ext.141.
E-mail: jesus.gonzalez@comunidad.unam.mx
[2] Facultad de Ingeniería UNAM, Av. Universidad #3000, México D.F. E-mail: rohogis@live.com
[2] Facultad de Ingeniería UNAM, Av. Universidad #3000, México D.F. E-mail: ryunja_360@hotmail.com

Además, con ello se confirma que las matemáticas son la ciencia que nos permite tener una veracidad en una aplicación de ingeniería que es palpable, otorgando una visión más amplia en los campos donde se aplican las ramas de la ingeniería. Se considera que la aplicación de los materiales compuestos puede ser ampliamente elevada si se logran estandarizar sus propiedades cuantitativas y cualitativas como tal. Algunas de ellas y las más importantes a tratar son el costo y diseño del material. El principal aspecto de diseño de materiales compuestos consiste en aprender a utilizar las propiedades que se encuentran relacionadas entre sí, y por medio de modelos matemáticos se logra fusionar la parte teórica y práctica que conlleva desarrollar un material compuesto.

La importancia de utilizar los materiales reciclados tiene como principal objetivo el reutilizar todo aquel producto que cumplió con su vida útil funcional y que posteriormente se convierte en residuo de desecho. En las figuras siguientes se aprecia datos sobresalientes que permiten establecer la utilización de materiales reciclados.

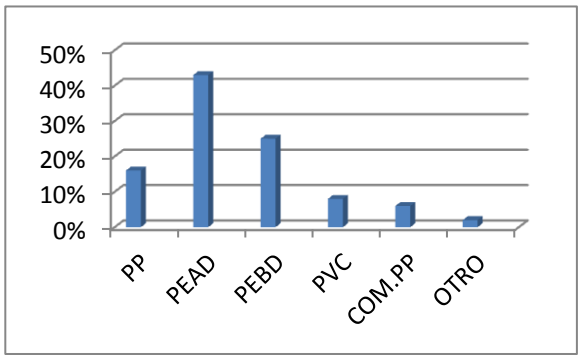


Fig.1. Consumo de materia prima, plástico en el país.

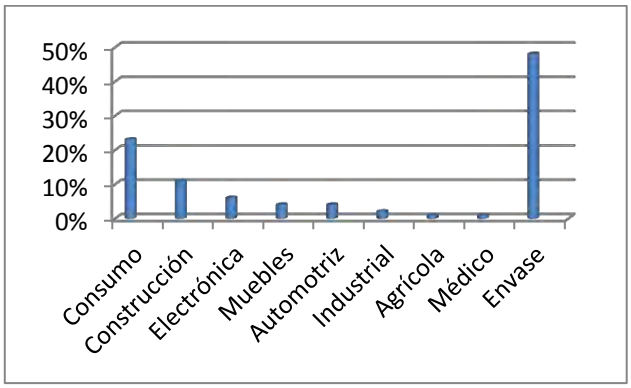


Fig.2. Consumo de polipropileno en diversos sectores en el país

En las Figs. 3-4 y Tabla 1 se describen algunos aspectos importantes a considerar, en específico del polipropileno (PP) comparado con algunos otros tipos de plástico respecto a su consumo nacional.

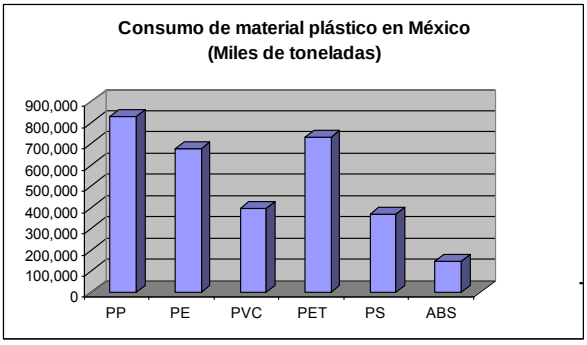


Fig.3. Consumo de plástico en miles de toneladas.

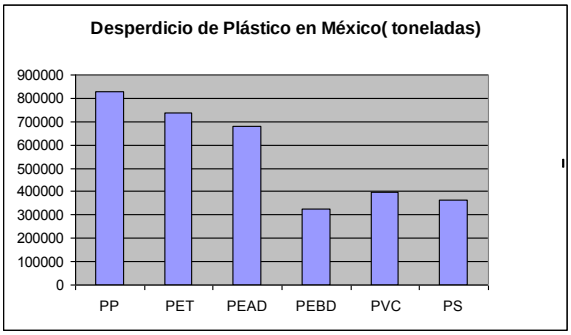


Fig.4. Desperdicio de plástico en el país, toneladas

Tabla 1. Tabla comparativa del consumo de material virgen y reciclado.

Plástico	Consumo plástico virgen	Producción plástico reciclado	Tasa de reciclado
PE	1,602,000	100,000	6.2%
PP	860,000	50,000	5.8%
PET	740,000	90,000	12.2%
PVC	415,000	18,000	4.3%
PS	363,000	5,000	1.4%
Técnicos	350,000	7,000	2.0%
Termofijos	320,000	0	0.0%
Total	**4,650,000**	**270,000**	**5.8%**

La principal fuente de desperdicio de Polipropileno (PP) proviene de las películas utilizadas para envasar botanas, sopas, galletas y pan. Como se menciona, los desperdicios de origen industrial, reciclados por varias firmas en México, como son recortes, segundas y películas fuera de especificaciones, son bien aceptados, e inclusive solicitados, también por sectores productores de bienes de consumo como artículos para el hogar, juguetes.

La información que se da hasta esta etapa se considera de gran utilidad para determinar que la capacidad de absorber el material reciclado para generar un compuesto es viable por los datos que se muestran en las gráficas anteriores.

Metodología a seguir para el efecto matemático y la generación de materia prima reciclada

Una de las principales consideraciones para realizar este trabajo radica en identificar las características sobresalientes de los materiales compuestos, que en base a las investigaciones previas se encontró que es la rigidez y las resistencias específicas.

La idea principal por realizar este trabajo consiste en establecer las relaciones funcionales de las variables y ecuaciones de estado que permiten complementar el diseño de materiales compuestos, considerando todas las propiedades mecánicas pertinentes de estos materiales.

A continuación se enlistan las características a considerar para llevar a cabo el análisis matemático.

1. Temperatura(T)
2. Módulo de elasticidad(E)
3. Porcentaje de material plástico en peso(P_P)
4. Porcentaje de madera en peso(P_M)
5. Dureza(D)
6. Resistencia última(R_U)

Estos son algunos de los elementos que se evaluarán para determinar los estándares del material compuesto a desarrollar.

Lo esencial para la obtención de estos datos es realizar ensayos mecánicos de los cuales se desprenden los valores que se requieren para dicho análisis, considerando que para ello se requiere de la fabricación de probetas del material, las cuales deben ser estandarizadas para lograr datos reales.

De acuerdo a los elementos que se contemplan para el análisis matemático, se establece un sistema de la siguiente forma:

$$T_1+E_1+P_{p1}+P_{m1}+D_1+R_{u1}=MC_{eff1}$$
$$T_2+E_2+P_{p2}+P_{m2}+D_2+R_{u2}=MC_{eff2}$$
$$T_3+E_3+P_{p3}+P_{m3}+D_3+R_{u3}=MC_{eff3}$$
$$T_4+E_4+P_{p4}+P_{m4}+D_4+R_{u4}=MC_{eff4}$$
$$T_5+E_5+P_{p5}+P_{m5}+D_5+R_{u5}=MC_{eff5}$$
$$T_6+E_6+P_{p6}+P_{m6}+D_6+R_{u6}=MC_{eff6} \quad (1)$$

En donde se puede apreciar que se encuentra muy relacionado con los fundamentos del análisis del diseño de materiales compuestos isótropos, a través de las matrices de tensión.

Posteriormente se hace uso del cálculo de eigenvalores considerando lo siguiente:

Una matriz A con los coeficientes del sistema de ecuaciones anterior y la matriz identidad I, correspondiente a la dimensión del sistema ya mencionado, para lograr el siguiente desarrollo.

$$|\lambda I - A| = 0 \quad (2)$$

de donde se obtiene un polinomio característico de orden 6, para así desarrollarlo y determinar los valores de λ, lo cual indicará datos de los parámetros identificados como los elegidos para tener un material efectivo como compuesto.

Habrá que recordar que este no es el único método por cual se pueden determinar las propiedades óptimas para un material compuesto, pero es el primer acercamiento que permite visualizar a través de las matemáticas básicas las aplicaciones para la generación de materiales de esta índole.

Y que posteriormente se verificará a nivel experimental si los valores de λ corresponden a la realidad y con ello comprobar la esencia del análisis matemático.

Para realizar la preparación del material reciclado de la madera, aserrín, se llevan a cabo las siguientes actividades:

1. Obtener el aserrín de una maderería
2. Separación del aserrín en diferentes tamaños
3. Obtención de la perdida de aserrín

La actividad 3 se muestra en la Fig. 5. Posteriormente contando con el aserrín clasificado en sus diferentes mallas y teniendo el material plástico de polipropileno reciclado se realiza el proceso de peletizado; el cual consiste en colocar tanto el aserrín como el polipropileno en una máquina de extrusión de materiales plásticas en donde se obtendrán perfiles con un diámetro aproximadamente de 3 mm, en donde ya se encontraran mezclados ambos materiales. En la Fig. 6 se muestra la imagen de la máquina extrusora en donde se realiza dicho proceso en la obtención del compuesto de materiales reciclados.

Se espera que los pellets a obtener se encuentren dados en las siguientes composiciones, de acuerdo a la Tabla 2.

Posteriormente se obtendrán probetas con este material las cuales serán creadas por medio del proceso de inyección de plásticos, este proceso se realizará en dos formas; 1) máquina de inyección manual y 2) máquina de inyección automática de 50 ton, estas máquinas se muestran en la Fig. 7.

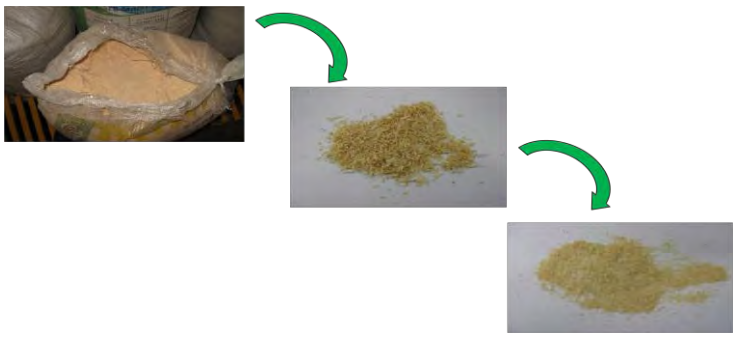


Fig.5 Secuencia en la separación del aserrín

Fig.6. Maquina de extrusión para la generación de pellets.

Tabla 2. Composición de material plástico y madera

Plástico [%]	Aserrín [%]
80	20
65	35
60	40
50	50
40	60

Fig.7. Máquinas de inyección manual y automática

Las probetas que se generan a partir de este desarrollo son para los ensayos que a continuación se enumeran.

1. Ensayo de tensión
2. Ensayo de compresión
3. Ensayo de dureza
4. Ensayo de impacto

Son los primeros ensayos que se obtendrán para la evaluación de las composiciones y poder asimismo generar la base de datos para cuantificar mas a detalle el modelo matemático mostrado en anterioridad.

Resultados

De acuerdo a los datos ya obtenidos hasta el momento se ha generado cierta información que al transcurrir del proyecto favorecerán para el desarrollo final del material compuesto, por ejemplo, en la siguiente gráfica se observa una línea que representa la pérdida de aserrín al momento de realizar la separación y sus diferentes números de mallas.

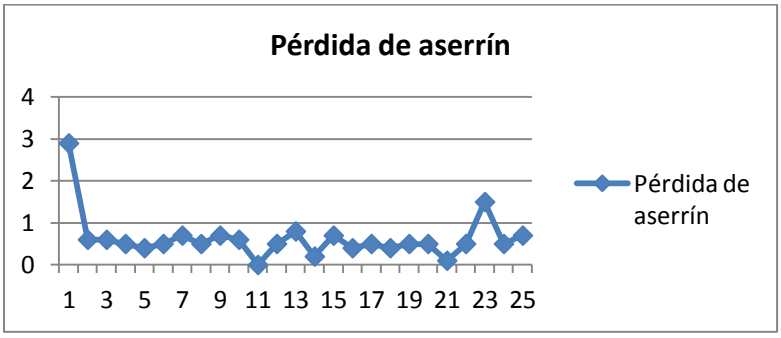


Fig.8. Pérdida de aserrín en la separación

En la Fig. 8 se aprecia que al inicio del proceso de la separación se encuentra una mayor cantidad de pérdida y ello se considera de esta forma debido a que en esos momentos no se encuentra estandarizado el proceso de separación, conforme transcurre el tiempo esa pérdida se va controlando eligiendo la calidad del aserrín.

En la Fig. 9 se aprecia el aserrín en su forma más fina que se ha obtenido hasta el momento en el avance de este proyecto e igualmente la variedad de acuerdo a las cribas utilizadas.

Fig.9. Separación de aserrín en respectivas cribas

Los datos observados en la Fig. 10 muestran las diferencias existentes entre las cribas que se han utilizado para la separación del aserrín que es extraído directamente de las madereras, mencionando que este producto es del pino.

Estos son algunos de los resultados sobresalientes que enmarcan el gran interés por seguir trabajando en este proyecto de los materiales compuestos desarrollados a través de materia prima reciclada.

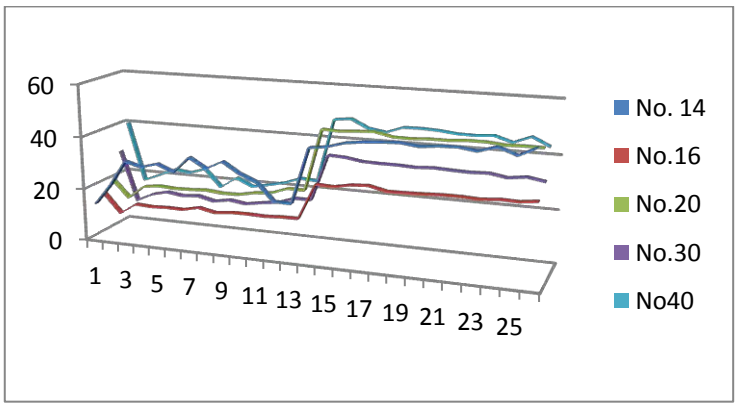


Fig.10. Cantidad de aserrin en 25 etapas.

Conclusiones

La relación de la composición de materia prima reciclada es un factor relevante que va a establecer el control adecuado de la generación del pellet de material compuesto, para esta investigación de plástico y madera, con ello se determinaran las propiedades mecánicas más adecuadas para este compuesto y posteriormente

evaluarlo en relación a la funcionalidad de un material compuesto. Además, se ha encontrado que un aspecto muy sobresaliente es la separación del aserrín que debe seguir un proceso controlado de acuerdo a las mallas por las cuales se puede obtener el producto final para realizar la combinación con el material plástico.

Asimismo, los valores óptimos de todas las composiciones se evaluarán con el modelo matemático a través de los eigenvalores que se conseguirán después de realizar los ensayos mecánicos ya mencionados, y con ello justificar la parte teórica y la práctica. Y con el transcurrir de la investigación se obtendrán mejores datos para un futuro prometedor de los materiales compuestos que se elaboran con materiales reciclados.

Referencias

1. Mario Solís J., Justo Lisperguer M., Luis Arancibia S., Andrea Wechsler P. Elaboración de productos manufacturados por moldeo utilizando plásticos postconsumo y materiales lignocelulósicos. 2005.
2. F. Otero, J.C. Miguez, F. J. Juanes, A. Valea. Síntesis de materiales compuestos nanoestructurados con propiedades termorreguladoras. 2007.
3. M. E. Solís, J.H. Lisperguer. Resistencia al impacto y a la tracción de materiales compuestos plástico-madera. 2005.
4. Patricia Oyarzún. Estudio de compuestos plástico-madera: desarrollo de una metodología de evaluación de la adhesión interfacial. 2003.
5. B. Arberdi, A. Arostegui, M. Sarrionandia. Tenacidad a la fractura del compuesto de polipropileno reforzado con fibra de Madera. 2007.
6. Debes Bhattacharyya, Martyn Bowis, Krishnan Jayaraman. Thermoforming woodfibre-polypropylene composite sheets. 2002.
7. Pascal Nzokou, Jason Freed, D. Pascal Kamdem. Relationship between non destructive and static modulus of elasticity of commercial wood plastic composites. 2006

EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 40. Volumen 4(1), 9 páginas.

PROPUESTA EN LA INTEGRACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE UN HUERTO EN EL DISTRITO FEDERAL

Jesús Vicente González Sosa[1], Josué Misael Villegas García[2,1], Elizabeth Flores Aguilar [3]

Resumen

Como futuro ingeniero egresado de nuestra máxima casa de estudios, además de poseer una sólida base de conocimientos, se me ha inculcado una responsabilidad social hacia este gran y hermoso país que es México. Es así que se desea proponer una opción para poder combatir uno de los grandes males que aqueja a nuestra sociedad, como es el caso de la falta de alimento en la mayor parte del territorio nacional, y en menor medida contribuir con la mejora del medio ambiente, en zonas urbanas como es el caso de la delegación Iztapalapa, lugar donde se planea realizar de manera práctica la implementación del proyecto.El objetivo de este trabajo es realizar una propuesta para la automatización de un huerto familiar de jitomate , mediante la técnica de sustrato sólido, que permita establecer una inversión mínima para controlar su mantenimiento y desempeño ingenieril.

Palabras clave: Almacigo, automatización, invernadero, huerto, hidropónico.

Abstract

As a future graduate engineers our highest seat of learning, besides having a knowledge base, we have been taught a social responsibility to this great and beautiful country of México. So I want to propose an option to combat one of the great evils which afflict our society, as is the case for lack of food in most parts of the country, and to a lesser extent contribute to the improvement of the environment in urban areas as in the case of Iztapalapa, where we plan to make a practical implementation of the project. The aim of this paper is to make a proposal fot the automation of a hydroponic tomato family garden, using the technique of solid substrate, which allows a minimum investment to control their maintenance and engineering performance.

Keywords: Nursery, Automation, Greenhouse, Garden, Hydroponic.

Introducción

En el trabajo que se presenta a continuación se expresa un proyecto de ingeniería en donde radica la principal idea de dar fundamentos a la problemática de huertos o invernaderos dentro de la parte de ingeniería, ya que es sabido que este tema ha generado gran interés en estos últimos años y uno de los objetivos es el reducir costos en este tipo de proyectos.

Por otro lado, el trabajo está compuesto de lo que se refiere a la estructura con la cual se fabrico el huerto, el tipo de cubierta a utilizar, la ventilación más eficaz, calefacción, riego, medición de temperatura y humedad, microcontrolador PIC, con lo cual se tienen las bases para el desarrollo a futuro de este tipo de invernaderos o huertos.

Material y método

Estructura

La estructura del invernadero (ver Fig. 1 y Tabla 1) se encuentra conformada en su totalidad por eslabones, los cuales se unen mediante solera de 1/8 x 1 de pulgada comercial y con la ayuda de tornillos con cabeza hexagonal de ¼ x 1 ½ o tornillos de cabeza hexagonal de ¼ x 2 ½ según sea el caso.

[1]Posgrado de la Facultad de Ingeniería UNAM,Ciudad Universitaria #300, 56223008 ext.141.
E-mail: jesus.gonzalez@comunidad.unam.mx
[2] Facultad de Ingeniería UNAM, Ciudad Universitaria #300. E-mail: misalelvillegas@gmail.com
[3]Facultad de Ingeniería UNAM, Ciudad Universitaria #300. E-mail: teba_af@yahoo.com.mx

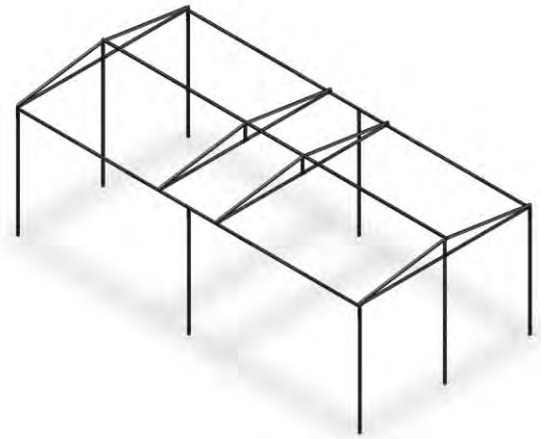


Figura 1.1: Estructura invernadero.

Dicho sistema mecánico está diseñado para soportar cargas eventuales provocadas por: el viento, la lluvia, el granizo, sistema de riego, sistemas de control de temperatura y humedad, sistema de tutoreo, entre otros. Todo esto con el fin de proteger nuestro cultivo y maximizar el rendimiento del mismo.

Se decidió que la estructura del invernadero fuese de *dos aguas* por su facilidad de construcción (ver Tabla 2), ya que como se comentó en el planteamiento del problema, cualquier persona debería construir la estructura, sin mayor necesidad de herramienta que un arco con segueta y un taladro. Si hubiésemos escogido otra forma del invernadero, como tipo túnel o cenital, la problemática sería la necesidad de herramienta y o maquinaría para hacer las piezas de las estructuras correspondientes, y que difícilmente una persona con poco poder adquisitivo podría poseer en su casa.

Tabla 1. Componentes de la estructura del invernadero.

Eslabones:	PTR negro cuadrado 1" calibre 14.
Ensambles:	Solera 1/8 x 1"comercial.
Tornillo cabeza hexagonal:	¼ x 1 ½ de pulgada.
Tornillo cabeza hexagonal:	¼ x 2 ½ de pulgada.

Además, el diseño se caracteriza por una capacidad de control de los factores climáticos, su gran resistencia a fuertes vientos y su rapidez de instalación. La altura del invernadero en su parte más alta es de 2.20 metros con una altura promedio de 1.90 metros, mide 6 x 3 metros, la ventilación se colocó en la parte posterior y anterior del invernadero.

Tabla 2: Ventajas de los invernaderos tipo dos aguas.

Estructuras sin soportes intermedios.
Buena ventilación.
Buena estanqueidad a la lluvia y al viento.
Excelente difusión luminosa.
Fácil construcción.
Fácil instalación.

Finalmente se recomienda proteger la estructura mediante un recubrimiento de pintura, con el fin de evitar la corrosión de la misma.

Tipo de cubierta

Se emplea una cubierta fabricada en polietileno para uso agrícola, este plástico es fabricado bajo estrictos controles de calidad, con equipos de última generación y bajo el sistema de coextrusión programada (tricapa). Lo que le brinda una larga duración térmica con capas diferenciadas que optimizan su performance. Retiene la radiación de onda larga infrarroja emitida por los cuerpos, lo que le permite elevar las temperaturas mínimas absolutas en 3 o 4 grados, más altas que las registradas en los films no térmicos, mejorando de esta forma el balance de la temperatura.

Además, suma a sus cualidades una mayor difusión de la luz solar, eliminando las zonas de sombra dentro de los invernaderos, lo que provoca un aumento en la precocidad de los cultivos. Se emplea en calibre 720, utilizando espesores más bajos, las propiedades térmicas y mecánicas son menores con lo que se corre el riesgo de acortar el tiempo de vida útil de 3 a 5 años a tan solo un año (ver Fig. 2 y Tabla 3).

Es un plástico ideal para proteger el cultivo de las inclemencias del medio ambiente y de plagas, tratado con protección ultravioleta, para una mayor duración. Se emplea en color verde clorofila debido a que el Distrito Federal, se encuentra en una zona donde las temperaturas templadas son más marcadas que las cálidas.

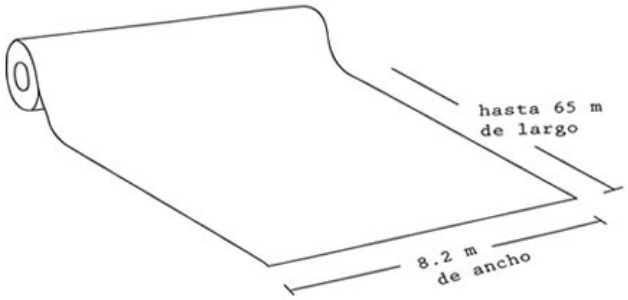


Figura 2: Dimensiones rollo de plástico para invernadero.

Tabla 3: Características de plástico para invernadero.

Calibre: 720.
Protección: UV 2.
Durabilidad: 3 - 5 años.
Presentación: 8.2 metros de ancho.
Usos comunes: como cubierta de invernaderos en zonas donde las temperaturas frías son más marcadas que las temperaturas cálidas.
Regiones recomendadas: Norte y Centro de la República Mexicana.

Por otra parte, el plástico se monta al invernadero mediante perfil sujetador y alambre zigzag, el cual aprisiona el plástico contra el perfil sujetador, impidiendo su movimiento, sin necesidad de perforar el plástico, lo que provocaría una concentración de esfuerzos alrededor del agujero, teniendo como desenlace la ruptura del plástico.

Ventilación

Para llevar a cabo una renovación constante del aire, tanto para evitar la falta de CO2, la acumulación excesiva de humedad y contribuir a la disminución de temperatura en el invernadero se colocaron, en la parte posterior y anterior dos marcos forrados con malla antiáfidos (ver Fig. 3 y Tabla 4), con lo cual se permite el paso de aire y además se evita la entrada de insectos como es el caso de la mosca blanca.

Por otra parte, cuando la temperatura sea demasiado elevada o exista un exceso de humedad, nuestro sistema de ventilación natural se podrá auxiliar de dos ventiladores, uno en la parte posterior que ingrese aire al invernadero y otro en la parte anterior que evacue el aire del invernadero, con ambos sistemas funcionando se lograra las condiciones adecuadas para nuestro cultivo.

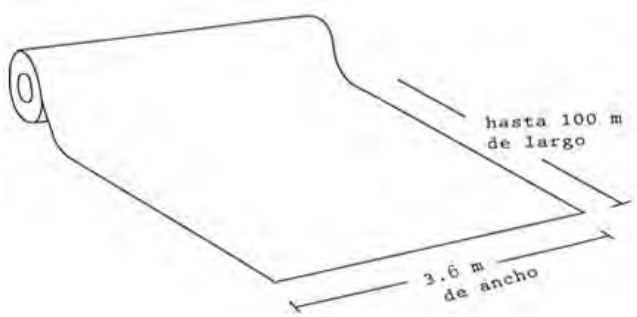


Fig. 3. Dimensiones de rollo de malla anti áfidos.

Tabla 4: Características malla anti áfidos.

Bordado:	40 x 26 hilos por pulgada cuadrada.
Durabilidad:	3 a 5 años.
Presentación:	3.6 metros de ancho.
Usos comunes:	Al instalarse como pared del invernadero, facilita la circulación del aire dentro de la instalación mientras evita la entrada de insectos para el cultivo.

Ahora bien, a continuación realizaremos el siguiente cálculo para determinar el tipo de ventilador que se empleará:

$$V_e = L * A * 2.44 \quad (1)$$

donde: Ve: Volumen de extracción.
L: longitud del invernadero.
A: ancho del invernadero.
2.44 m/min normalmente se considera suficiente.

Por tanto: $V_e = 6 * 3 * 2.44 = 43.92 \ \frac{m^3}{min}$

De acuerdo al cálculo anterior y a las especificaciones técnicas de los ventiladores disponibles en el mercado, se seleccionó el siguiente dispositivo (ver Fig. 4 y Tabla 5), tomando en cuenta su precio y su garantía.

Figura 1.4: Ventilador extractor.

Tabla 5. Características técnicas ventilador.

Alimentación: 110 Vca.
Corriente de consumo: 130 mA.
Potencia: 14 W.
Decibeles: 35 dBA.
RPM: 1600/2000.
Dimensiones: 12 x 12 x 2,5 cm (6 pulgadas).

Finalmente, es necesario comentar que los dos extractores, junto con las ventanas posterior y anterior, constituyen el sistema de ventilación, el cual actúa de manera inerte, hasta que la temperatura es mayor a 25º C o la humedad es mayor al 90%, es entonces cuando los extractores entran en acción. Puesto que la ventilación natural que proporcionan las ventanas no es suficiente para regular las variables físicas antes mencionadas.

Calefacción

El tipo de calefacción seleccionada se denomina, *calefacción por aire caliente*, la cual consiste en hacer pasar aire a través de una resistencia eléctrica (ver Fig. 5), para posteriormente movilizarlo con ayuda de un ventilador, en el interior del invernadero.

El ventilador empleado, en la movilización del aire caliente, es del mismo tipo que los utilizados para la ventilación. La resistencia eléctrica se encontrará 30 centímetros separada del ventilador como medida de seguridad, además este se accionará tres minutos después del encendido de la resistencia.

Figura 5. Resistencia: 110Va, 1000w, 28.8 Ohm.

Finalmente, para que el sistema de calefacción comience a trabajar, la temperatura en el invernadero deberá ser menor de 15º Celsius.

Riego

Primeramente, cabe mencionar que el sistema de riego implantado consta de dos partes, la primera dedicada al riego de las plantas y la segunda consagrada al aumento de la humedad en el huerto.

Continuando, en la parte dedicada al riego de las plantas, se eligió el sistema de riego por goteo. El ahorro de agua es bastante alto, ya que solo se le administra el agua necesaria para que la planta se desarrolle de manera adecuada. Además se disminuye la evaporación del líquido pues el goteo se realiza a nivel del sustrato o de la tierra según sea el caso. Es importante minimizar las pérdidas de líquido en esta parte, pues se trata de solución nutritiva y no agua común como en el caso del aumento de humedad (ver Fig. 6).

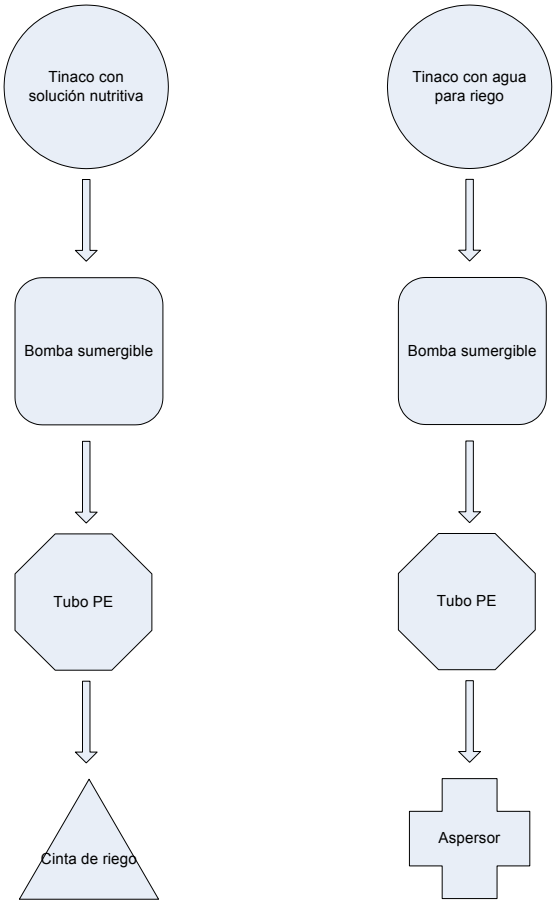


Figura 6. Recorrido del agua según su uso en el sistema de riego.

Los elementos que integran esta parte del sistema de riego son: una bomba sumergible (ver Fig. 7 y Tabla 6), cinta de riego con goteros incluidos (ver Tabla 7), tubo PET de 16 mm y un par de aspersores.

Figura 7. Bomba sumergible de 2000 L/H.

Tabla 1.6: Características bomba sumergible.

Puede levantar el agua a una altura máxima de 3 m, lo que le permite trabajar con la mayoría de los tinacos.
Sus componentes internos son inertes y su eje es de cerámica, por lo que la solución nutritiva no tiene riesgo alguno de sufrir alguna reacción al entrar en contacto con la misma.
Tiene un consumo de tan solo 40 W, generando considerables ahorros en el consumo de energía de cualquier invernadero, además de ser silenciosa.

Tabla 1.7: Características de la cinta de riego.

Diseñada para que desde la primera bolsa de cultivo hasta la última, reciban la misma proporción de riego, facilitando el desarrollo homogéneo de las plantas, a pesar de trabajar en terrenos con desnivel.
Cuenta con goteros cada 32 cm. que es la separación ideal entre bolsa y bolsa en un cultivo hidropónico.
Su plástico calibre 6000 es resistente a la intensidad solar, además de que su coloración evita la formación de algas que puedan obstruir sus canales.
Genera un significativo ahorro de agua y solución nutritiva ya que te permite mantener riegos precisos sin necesidad de recuperar la solución nutritiva.

Para concluir, hablaré de la parte que se dedica al aumento de humedad, la cual consta de dos aspersores (ver Tabla 8), los cuales se activan, mediante una bomba de las mismas características que la empleada en el riego de las plantas. Para que esta parte entre en acción la humedad dentro del invernadero debe ser menor al 40 %.

Tabla 1.8: Características aspersor.

Ficha Técnica	**Medidas**
Rango de Presión:	2.5 - 3.5 bar.
Caudales de Emisión a 3.0 bar:	22, 25, 38 y 45 LPH.
Tamaño promedio de la gota:	130 micrón.
Conexión de montaje:	Cónico o roscada de 5 mm.

Medición de temperatura y humedad

La medición de temperatura se realiza mediante un HMZ-433A1, dicho componente electrónico es un módulo de medición de temperatura y humedad. Se eligió este dispositivo debido a su precio y precisión. Además de ser altamente compatible con el sistema de control, ya que entrega una resistencia proporcional a la temperatura, con lo que se pueda realizar la caracterización de la siguiente forma.

De la hoja de datos del sensor (ver Anexo G) conocemos que este se encuentra integrado por un termistor y de acuerdo a la fórmula de STEINHART-HART, tenemos:

$$R = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_0}\right)} \tag{2}$$

donde: R: es la resistencia eléctrica medida en el instante actual.
Ro: es la resistencia eléctrica de referencia a una temperatura de 25° Celsius.

B: es un coeficiente indicado por el fabricante.
T: es la temperatura en kelvin, en el instante actual.
To: es la temperatura de referencia en kelvin.

Por otra parte, sabemos que el microcontrolador posee un convertidor analógico digital, que tiene una resolución de 8 bits, con lo que asigna un valor de 0 a 255 al voltaje que mide, el cual va de 0 a 5 volts. Con lo que obtenemos lo siguiente.

$$\begin{gathered} 0\ [V] = 0 \\ 5\ [V] = 255 \\ V_{salida} = medición \end{gathered} \tag{3}$$

De donde:

$$V_{salida} = \frac{(medición)(5)}{255}\ [V] \tag{4}$$

Apoyándonos en la observación de la Fig. 8, podemos continuar con nuestro análisis, para obtener la medición de la temperatura.

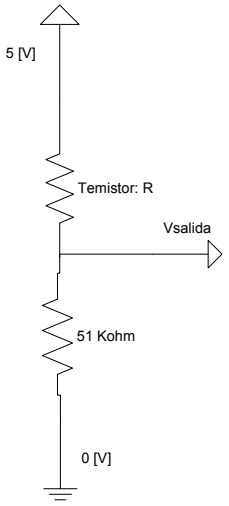


Figura 8. Medición voltaje de salida, proporcional a la temperatura.

Aplicando un divisor de voltaje tenemos que:

$$V_{salida} = \frac{(5)(51)}{51+R}\ [V] \tag{5}$$

Igualando (4) y (5) y despejando R tenemos:

$$R = \frac{(51)(255)}{medición} - 51\ [kOhm] \tag{6}$$

Finalmente igualando (2) y (6) y despejando T:

$$T = \frac{B}{\ln\left(\frac{(255)(51)}{(R_0)(medición)} - \frac{51}{R_0}\right) + \frac{B}{T_0}} \quad [K] \tag{7}$$

Con lo que obtenemos la temperatura en Kelvin, así pues solo falta restar 273.15 y obtenemos la temperatura en grados Celsius.

Por otra parte, como ya se mencionó, el módulo HMZ-433A1 también es un sensor de humedad, el cual entrega un voltaje proporcional a la humedad relativa presente en el medio ambiente. Para obtener la humedad se realizó lo siguiente, como ya sabemos:

$$V_{salida} = \frac{(medición)(5)}{255}\ [V] \tag{8}$$

Por otra parte de la hoja de datos del sensor sabemos que existe una relación lineal entre la humedad y el voltaje, además el fabricante nos proporciona la Tabla 9.

Tabla 9: Relación lineal entre voltaje y humedad relativa.

Humedad	20	30	40	50	60	70	80	90
Voltaje	0.66	0.99	1.32	1.65	1.98	2.31	2.64	2.97

Realizando una regresión lineal entre la variable dependiente voltaje (V) y la variable independiente humedad (H), tenemos que:

$$V_{salida} = A(H) + B \tag{9}$$

donde A y B son constantes determinadas con la ayuda de la tabla anterior.

Igualando (8) y (9) y despejando H, se tiene:

$$H = \frac{(medición)(5)}{(255)(A)} - \frac{B}{A} \tag{11}$$

Con lo cual se obtiene la humedad en porcentaje.

Microcontrolador PIC

El cerebro de nuestro huerto familiar automatizado es un microcontrolador PIC16F887, el cual se encarga del control de temperatura, humedad y riego del cultivo.

El programa que posee el microcontrolador es propio de un sistema embebido, lo que significa que viene pre-programado con rutinas que varían de acuerdo al estado de madurez del cultivo de jitomate, ya que dependiendo de su etapa de desarrollo se necesita cierto número de riegos por día.

Así pues cuando se enciende el sistema de control, este inmediatamente nos indica que ingresemos la hora actual, posteriormente se debe ingresar el periodo de desarrollo de la planta (germinación, fructificación, etc.), con lo cual queda establecido el número de riegos por día, la hora del riego y su duración, y finalmente pasa a un estado donde solo muestra la hora actual, la temperatura actual y la humedad relativa del huerto, al mismo tiempo que realiza las acciones mencionadas en la Tabla 10.

Por otra parte, el usuario interactúa con el sistema de control, mediante tres botones, el primero realiza la función de *reset*, el segundo sirve para cambiar de número y el tercer botón se utiliza para seleccionar el número. El usuario visualiza estos cambios mediante un LCD de 16x2.

Cabe señalar que este dispositivo solo se encarga de la etapa de control, puesto que los actuadores funcionan a 110 VCA, debemos agregar un sistema de potencia.

Tabla 10: Programa de control del micro-controlador.

Variable controlada	Estado	Acción
Temperatura	T < 15	Enciende calefacción.
	15 ≤ T ≤ 25	Reposo
	25 < T	Enciende ventiladores
Humedad	H < 40	Enciende aspersores
	40 ≤ H ≤ 90	Reposo
	90 < H	Enciende ventiladores
Riego	R = tiempo de riego	Enciende bomba
	R ≠ tiempo de riego	Apaga bomba

Referencias

[1] ABAD, M. y NOGUERA, P. Los sustratos en los cultivos sin suelo. 2ª edición. Madrid, España. Mundi-Prensa, 2000.

[2] ASKELAND, Donald R. y PHULÉ, Pradeep P. Ciencia e ingeniería de los materiales. 4ª edición. México D.F., México. Thomson, 2006.

[3] BEER, Ferdinand P., JOHNSTON, Russell E., DEWOLF, John T. Mecánica de materiales. 4ª edición. China. McGraw-Hill, 2007.

[4] BOLTON, William. Mecatrónica sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica. 3ª edición. México D.F., México. Alfaomega, 2006.

[5] CAMARENA, Pedro. Instalaciones eléctricas industriales. 2ª edición. México D.F., México. CEDSA, 2008.
[6] SMITH, Andrew F. The tomato in America: early history, culture, and cookery, Columbia, S.C, Estados Unidos de America. University of South Carolina Press, 1994.
[7] PERALTA, I.E. and D.M. Spooner, History origin and early cultivation of tomato (Solanaceae), 2ª edición, Enfield, Estados Unidos de America. Science Publishers, 2007.
[8] CANOVAZ, F. Díaz, J.R., Cultivos sin suelo. Almería, España. Instituto de Estudios Almerienses, 1993.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 3. Volumen 4(1), 6 páginas

SISTEMA AUTOMÁTICO DE LLENADO DE LÍQUIDOS

Luis Fernando Verduzco Piña, Martha Itzel Payán Osuna, Luis Uriarte Rodríguez[1]

Resumen

Se muestra la realización de un prototipo de Sistema Automático de Llenado de Líquidos, explicando a detalle cada una de las partes que lo componen. Es un sistema a base de microcontrolador (16F877A) y otros elementos con la característica de ser relativamente de bajo costo. El sistema permite al operador controlar la cantidad de líquido requerido, el cual se mide en litros, desplegando en un indicador el valor numérico. En una primera modalidad, el sistema realiza el llenado para botellas de uno y dos litros; como segunda modalidad y adaptando un soporte especial, el sistema puede realizar el llenado simultáneo de botellas de medio litro. Se ha verificado con diversas pruebas la exactitud del sistema, y se propone una potencial aplicación específica.

Palabras clave: Llenado Automático de Líquidos, Microcontrolador 16F877A, Planta Purificadora de Agua.

Summary

It is shown in this paper, a prototype of an automatic liquid filling system, explaining in detail each of the component parts. The system is based on microcontroller (16F877A) and other items with the characteristics of being relatively low cost. The system allows to the operator to control the amount of fluid required to dispense, which is measured in liters, and an indicator display the numeric value. In a first scenario the filling system is able to fill one-liter and two-liter bottles; while in a second modality, the system can perform the simultaneous filling of half-liter bottles. It has been tested with various system accuracy tests, and also it is proposed a specific practical application.

Keywords: Automatic Liquid Filling, 16F877A Microcontroller, Water Purification Plant.

Introducción

Como antecedente, este prototipo de sistema automático de llenado de líquidos ha sido realizado como proyecto final de la asignatura de microcontroladores que se cursa en el sexto semestre de la Licenciatura en Ingeniería en Procesos Industriales (IPI) que se imparte en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), donde se pretende aterrizar las cuestiones teóricas a la solución de problemas prácticos. En ese sentido vimos la posibilidad de crear en ese tiempo, un Sistema Automático de Llenado de Líquidos, del cual se puede tener infinidad de áreas de oportunidad para su aplicación.

De esa forma, en este artículo presentamos el prototipo que hemos desarrollado y ahora a través de este artículo lo difundimos. Se explica entonces la composición del sistema de llenado de líquidos, así como el principio de funcionamiento del mismo. En particular se destaca una posible área de oportunidad para aplicación de nuestro sistema, y que hemos detectado dentro de la misma universidad; el aplicarlo, con las debidas modificaciones, con un enfoque en el llenado automático de envases en la planta purificadora de agua de la UAS. Esta planta se localiza en la Facultad de Ciencias Químico-Biológicas (FCQB), que está contigua a la Facultad de Ingeniería, y donde se realiza el proceso de llenado de forma manual.

Actualmente existen distintos prototipos experimentales, uno de ellos [1] realiza el llenado de envases de aproximadamente 200 ml, llenándolos uno por uno a través de una banda transportadora anexa. En nuestro prototipo se pueden llenar botellas de diferentes capacidades volumétricas, lo que da mayor flexibilidad y no ocurre con [1]. Así también se realiza un llenado más rápido, al tener un sistema que permite un mayor caudal y el llenado simultáneo de botellas.

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS). Facultad de Ingeniería. Ingeniería en Procesos Industriales (IPI). Av. de Las Américas y Blvd. Universitarios S/N, (667) 7134043. E-mails: luis_racing18@hotmail.com, mxr_maru@hotmail.com, luis_cristo9@hotmail.com

A partir del prototipo base que proponemos, se puede realizar una adaptación no muy compleja, aprovechando el sistema manual ya existente, y en consecuencia no requiriendo de grandes presupuestos y teniendo unas prestaciones aceptables. Cabe aclarar que para el momento en que se escribe el presente artículo, ya se ha iniciado el proceso de estudio para ver cómo se pudiera adaptar nuestro prototipo para la aplicación en la planta purificadora.

El resto del artículo lo hemos distribuido en las siguientes secciones: en la primera sección se presentan el apartado de Métodos y Materiales, donde se trata lo relativo a los componentes del sistema, principio de operación y lo correspondiente al programa y la simulación de PIC. En una segunda sección se muestran los Resultados; la Propuesta de aplicación la tenemos en un apartado subsecuente; y finalmente se tienen las Conclusiones.

Métodos y Materiales

Físicamente el sistema se compone de dos partes principales: en una primera parte se tiene a la caja protectora de cubierta transparente, donde se aloja la tarjeta impresa con los componentes electrónicos. La cara principal de la caja presenta un par de orificios, éstos permiten que los botones del tipo pulsantes (*push bottons*), puedan sobresalir y estar a disposición de ser manipulados por el operador. La transparencia de esta cara principal tiene la ventaja de permitir al operador observar al display de 7 segmentos que se aloja dentro, teniéndolo a buen resguardo, fuera del alcance de daños físicos debido al manejo y uso normal del prototipo.

En relación al circuito impreso alojado dentro de la caja, se consideró colocar a los componentes tal cual se pretendía implementar en el circuito físico, ya en la tarjeta impresa, tomando en cuenta que éstos deberían colocarse de la manera más adecuada para que se pudiera observar correctamente las conexiones. Por otro lado, se eligió el PIC 16F877A por ser fácil de conseguir y por razones de carácter económico.

En la Fig. 1 se puede observar algunas de estas partes que componen el prototipo. En esta figura se etiquetan ciertos componentes principales y controles, los cuales se presentan en la Tabla 1 para su mejor reconocimiento y localización en la misma figura.

Como segunda parte complementaria del sistema, consideramos a la bomba de agua, mangueras, soporte de envases y depósito o contenedor de agua para pruebas. En la Fig. 2 se puede observar esta parte del prototipo, donde fue necesario utilizar trozos de madera, manguera y tubería de media pulgada, además de abrazaderas y cinta para realizar la parte que representa la conexión entre la bomba y los envases que reciben el líquido.

Con estos materiales mencionados, prácticamente de desecho, se hace un pequeño soporte para sostener hasta cuatro botellas de medio litro. Hubo necesidad también de adquirir otros materiales, y cuya lista la exponemos a detalle en la Tabla 2.

En cuanto al proceso de operación, antes de poner en funcionamiento el sistema se recomienda leer detenidamente el documento [2], para garantizar las condiciones mínimas de seguridad. Al conectar el cable de alimentación (CA, 120 V 60 Hz), se enciende el indicador de alimentación, también se enciende el display indicando un valor de 0 litros.

Fig. 1. Elementos principales y controles del sistema.

Tabla 1. Componentes principales

Etiqueta	*Elemento*
1	Botón 1 para el control de litros
2	Display (muestra los litros a dispensar)
3	Botón 2 para iniciar el llenado
4	Circuito
5	Bomba de agua

Fig. 2. Llenado simultáneo

El siguiente paso es la elección de la cantidad de litros que se desea despachar, para lo cual se pulsa el botón correspondiente, una vez por cada litro requerido; si se desean tres litros, por ejemplo, se tendrá que presionar tres veces el botón 1, y el display desplegará el número 3.

Tabla 2. Lista de materiales

No. Elementos	*Componentes*
1	PIC16F877A
1	Display de7 segmentos
1	Bomba
9	Resistores de 220 Ω ½ W
2	Resistores de 10 k Ω ½ W
2	Capacitores cerámicos de 33 pF
2	Botón pulsador
1	Relevador 6V
1	Transistor BC547 Placa fenólica 1 cara, 10 X 15 cm
1	Fuente de poder
1	Cloruro férrico 220 ml
1	Cristal de cuarzo 4Mhz

Entonces, de manera general, una vez que se ha colocado el recipiente adecuado a la salida del agua conectada a la bomba, se presiona el botón de inicio (botón 2) para que el sistema comience a dispensar los litros de líquido; se enciende la bomba y en el display se observa cómo se disminuye la cantidad de litros conforme la bomba los va entregando, de tal forma que, si inició en el número 3, cambia después de un tiempo al 2, luego al 1, hasta llegar al 0. Al llegar al cero, la bomba se detiene y el sistema deja de funcionar; la cantidad deseada de líquido ha sido despachada.

En lo referente al programa y simulación, se desarrolló fue del código auxiliándonos del programa MPLAB IDE [3]. Este software utiliza lenguaje ensamblador y está ligado con el PIC elegido, siendo ambos productos de la misma compañía. Ya teniendo el código construido correctamente, se realizo una simulación del sistema para tener una aproximación del comportamiento real. Para la simulación se utilizó el programa PROTEUS [4], que es un software que nos ayuda a simular diseños electrónicos, además nos permite acoplar el código creado en el lenguaje ensamblador al PIC seleccionado, y visualizar el funcionamiento que se pretende obtener antes de realizar las conexiones físicamente. (Ver Fig. 3).

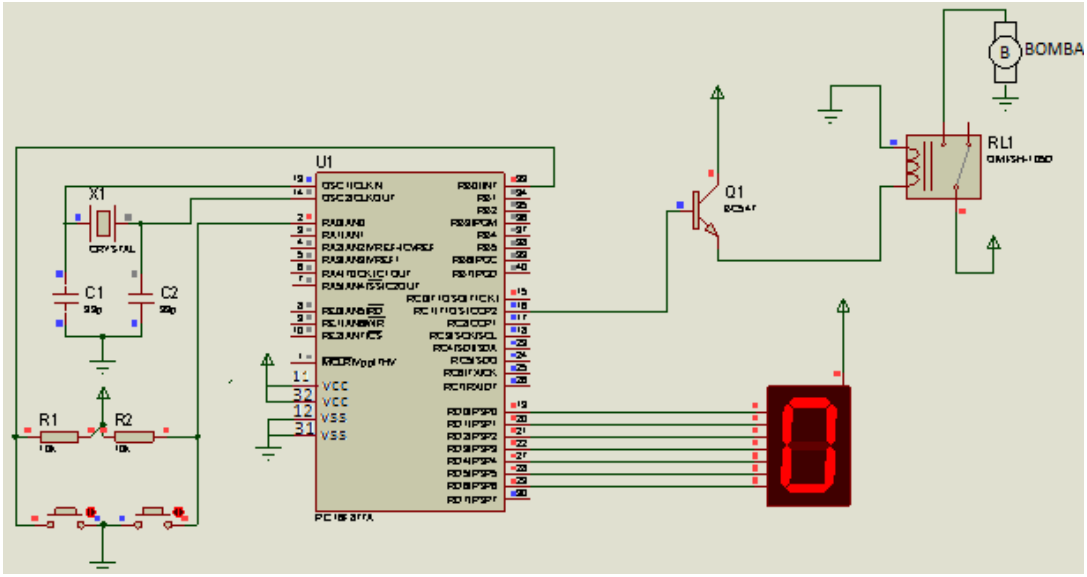


Fig. 3. Diagrama esquemático

El microcontrolador [5], [6] ha sido programado para que al recibir la información de entrada, se procese y mantenga encendida a la bomba el tiempo requerido, de tal forma que garantice los litros que se han solicitado. El diagrama de flujo del programa se muestra en la Fig. 4.

También es posible adaptar o ajustar la cantidad de líquido a entregar y los tiempos a utilizar de forma externa, realizando modificaciones físicas, a través de variaciones en las aberturas de los conductores de agua.

El diseño del programa que se introdujo al microcontrolador se basó en dos rutinas principales (ver Fig. 4); una encargada de llevar la cuenta de los litros que se van a despachar, realizando incrementos observables en el display, la cual se asocia al botón 1 del sistema. Y por otro lado, tenemos una rutina de decremento que permite realizar la resta al valor de la cuenta, se asocia al encendido de la bomba y en consecuencia al botón 2. Se utilizan diferentes variables para llevar un control de incrementos, decrementos y retardos.

Resultados

Se realizaron pruebas donde se verifica la exactitud del llenado. En particular se probó usando agua como líquido y llenando botellas de uno y dos litros. Estas pruebas se han grabado y pueden observarse en línea accediendo a [7].

Para la modalidad en donde se realiza el llenado simultáneo, es decir de manera paralela, para botellas de medio litro se coloca un soporte (ver Fig. 2). Éste consiste en una caja rectangular de madera con dimensiones adecuadas para la colocación de forma holgada de cuatro botellas de medio litro cada una. En los extremos se tienen dos pequeñas columnas de altura algo mayor que la de las botellas, que sirven para sostener un trozo de un tubo, el cual por una terminal está sellado y por la otra se le conecta por medio de una abrazadera metálica la manguera que sirve de interfaz con la bomba, y por donde ha de recibir el líquido que se le suministre.

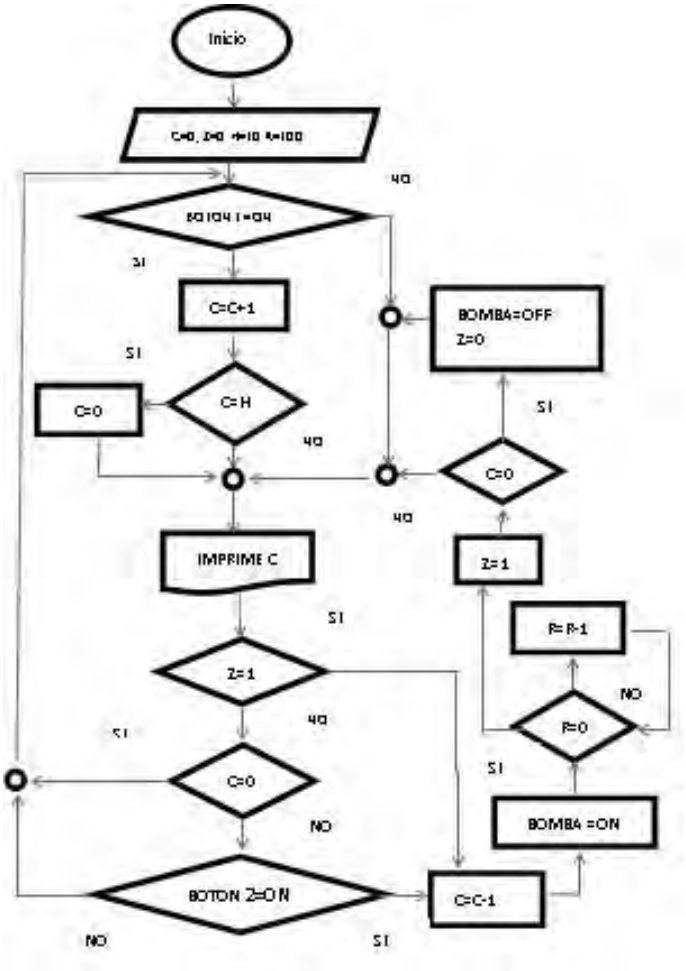


Fig. 4. Diagrama de flujo.

Al tubo se le han hecho cuatro perforaciones uniformemente distribuidas, que coinciden en línea vertical con cada una de las bocas de las botellas. El diseño y la mecánica de fluidos nos garantizan el llenado uniforme para cada una de las botellas. Para este caso, el programa permite que se realice el llenado de las cuatro botellas sólo presionando una vez el botón 1, y posteriormente el botón 2 para iniciar el proceso

Propuesta

Como se ha mencionado, actualmente en la planta purificadora de agua de la FCQB, se cuenta con un sistema de llenado de agua para botellas y garrafones que es manual (ver fig. 5).

Fig. 5. Sistema de llenado actual de la FCQB.

En principio se quiere adaptar el sistema para el llenado de agua de las botellas de 500 mililitros donde actualmente además de ser manual, se tiene que montar un conjunto de tubos, y una vez ajustado, se procede a colocar las botellas para el llenado por medio de movimiento de una llave tipo palanca que controla la cantidad de agua, a voluntad del operador.

Actualmente se está en proceso de evaluar la factibilidad y capacidad de nuestro sistema para una posible adaptación.

Conclusiones

Este sistema automático de llenado facilita en gran medida el proceso de llenado de envases con algún tipo líquido que se requiera, dependiendo de la aplicación.

En particular se ha comprobado su exitoso funcionamiento en el llenado de agua para envases pequeños, de uno y dos litros, pudiendo utilizarse para envases de cualquier capacidad volumétrica si se usa alguna escala de equivalencias que informe al usuario la cantidad que se desee.

Por otro lado, el prototipo permite el llenado de forma simultánea de cuatro botellas de agua de medio litro, pudiéndose extender a un mayor número adaptando la estructura de soporte.

Un área de oportunidad para aplicar este sistema, es en el llenado de agua para las botellas y garrafones en la planta purificadora de agua de la UAS. El próximo trabajo a realizar a manera de continuación es la adaptación de este sistema, al proceso actual que realizan en la planta purificadora, del cual de momento es totalmente manual.

Referencias

[1] Prototipo de llenado automático de líquidos (ITSECH). *hhttp://www.youtube.com/watch?v=mzpjQYyP5S8*
[2] Payán Osuna M. I. Verduzco Piña L.F. Uriarte Rodríguez L. *Manual de Instrucciones de Llenado Automático*. 1era Edición, 2011, Culiacán (6 páginas).
[3] MPLAB IDE. Microship. *User's Guide*. MicroshipTechnology Inc. 2006 (278 páginas).
[4] García Breijo E. *Compilador C CSS y Simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC*. 1era. Edición. 2008. Marcombo. México (264 Páginas).
[5] Hojas de datos técnicos PCI167F877. Microchip Technology Inc. 2001.
[6] Valdez Pérez F. E. Pallás Aremy R. *Microcontroladores fundamentos y aplicaciones con PIC*. Alfaomega-Marcombo. 2007. México (340 páginas).
[7] Verduzco Piña L.F. Uriarte Rodríguez L. 2011 (4 de mayo). http://www.youtube.com/watch?v=4ltA--sXv2Y

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 42. Volumen 4(1), 7 páginas

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA CARACTERIZACIÓN BIOMECÁNICA DE TEJIDO DE RES

Juan Carlos Guerrero Carmona[1], Gabriel Sepúlveda Cervantes[2], Omar Arturo Domínguez Ramírez[3]

Resumen

Este articulo muestra el procedimiento experimental para realizar la caracterización Biomecánica de tejido de hígado de res. Se describe la instrumentación y el circuito requerido para la adquisición de los datos para la caracterización. Posteriormente se explica la obtención de la ecuación matemática que representa el comportamiento de este tejido.
Palabras Clave: Biomecánica, Caracterización, Interfaz Háptica, Modelo, Tejido.

Summary

This article shows the experimental procedure to perform the biomechanics of tissue characterization of beef liver. We describe the instrumentation and the circuit required to carry out the data acquisition for characterization. Then it is explained how to get the mathematical equation that represents the behavior of this tissue.
Palabras Clave: Biomecánica, Caracterización, Interfaz Háptica, Modelo, Tejido.

Introducción

El ser humano siempre ha buscado la manera de estimular sus sentidos para obtener experiencias y conocimientos nuevos, por ejemplo, ha desarrollado simuladores para entrenamiento. Una actividad enriquecida con este tipo de simuladores es la cirugía [1] con la finalidad de recrear dicha experiencia en un ambiente seguro para la práctica, para ello, la aplicación debe permitir la inmersión del usuario, lo cual no es fácil de conseguir ya que la mayor inmersión se logra mediante la estimulación simultánea de varios sentidos como la vista, el oído y el tacto. Actualmente los sentidos más importantes que utiliza el ser humano para adquirir información de su entorno son la vista y el oído, por ejemplo al ver un video o escuchar un audio. Sin embargo la estimulación del sentido del tacto no ha sido un campo estudiado a profundidad, lo que representa una oportunidad de investigación y desarrollo tecnológico.

El desarrollo de la ciencia ha permitido la creación de nuevas tecnologías encaminada a entender matemáticamente como los seres humanos percibimos nuestro entorno, entre ellas destaca la Biomecánica [2]. La Biomecánica es una rama de la ingeniería que estudia los organismos y sus procesos biológicos con la finalidad de comprender sus propiedades físicas y comportamiento. Para conseguir este objetivo se auxilia de las matemáticas y de la robótica para generar un proceso de conocimiento del tejido que se denomina: "*Caracterización Biomecánica*" [14] [15] [16] [17] [18].

El presente trabajo muestra una técnica para llevar a cabo la caracterización Biomecánica de tejido de res, mediante el uso de un dispositivo háptico y un sensor de fuerza.

Adquisición de Datos

Configuración del Sensor de fuerza

Desarrollado por la marca *Tekscan's*, el sensor *Flexi Force* puede ser usado para medir tanto fuerzas dinámicas como estáticas [3].

[1] Instituto Politécnico Nacional, Av. Juan de Dios Bátiz s/n, Tel: 0445518435896. E-mail: jcgc1203@gmail.com
[2] IPN – Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo, "Unidad Profesional Adolfo López Mateos", Av. Juan de Dios Bátiz s/n casi esq. Miguel Othón de Mendizábal. Col. Nueva Industrial Vallejo, Delegación Gustavo A. Madero C.P. 07700, México D.F., Tel. 5729 6000, Ext. 52522. E-mail: gsepulvedac@ipn.mx
[3] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca Hidalgo, México. Tel. +52(771)7172000, Ext 6734. E-mail: omar@uaeh.edu.mx

El sensor *Flexi Force* usa una tecnología basada en resistencia la cual al aplicar una fuerza en la sección de medición provee un cambio en la resistencia de los elementos sensores en proporción inversa a la fuerza aplicada, ver Fig. 1.

Fig. 1 Sensor Flexi Force [4].

Dicho sensor servirá para obtener los valores de fuerza contra deformación sobre el tejido, los cuales son necesarios para obtener el modelo matemático que relaciona estas variables [4].

El rango de valores de operación del *Flexi Force* oscila entre kΩ (kilo-ohms) con máxima carga hasta MΩ sin carga, por lo que el propio fabricante hace la recomendación de un circuito que incluye un amplificador operacional (OPAM) como amplificador inversor [5]. El OPAM utilizado fue el *uA741*el cual es de propósito general. En la Fig. 2 se muestra el diagrama de la configuración del sensor *Flexi Force*.

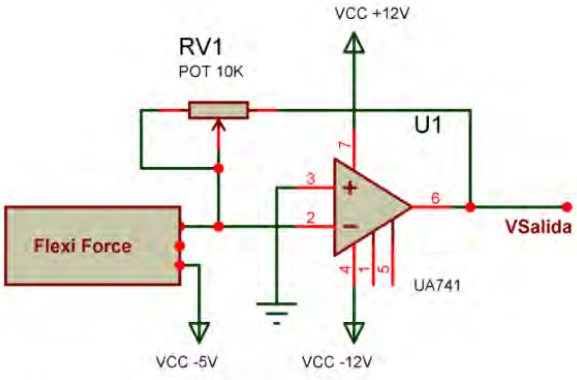


Fig. 2 Configuración Flexi Force y OPAM UA741.

Tarjeta de Adquisición de Datos

Para almacenar los datos proporcionados por el sensor de fuerza *Flexi Force* es necesaria una interfaz entre el circuito y la computadora. Esto se logra mediante la tarjeta de adquisición de datos NI USB-6009 de *National Instruments* [6]. Es importante mencionar que la tarjeta se integró al programa principal mediante el uso de una dll programada en C++ utilizando las librerías proporcionadas por el fabricante.

Interfaz Háptica

Los *dispositivos hápticos* son sistemas electromecánicos que funcionan como dispositivos de entrada salida, que proveen retroalimentación de fuerza y captura de posición del usuario para interactuar con ambientes virtuales. Una interfaz háptica está constituida por un operador humano, un ambiente virtual y un dispositivo Háptico ver Fig. 3.

Fig. 3 Funcionamiento Dispositivo Háptico.

La interacción entre el ser humano y el dispositivo háptico es llamada *Lazo Kinestésico* por la estimulación de las terminales nerviosas del ser humano y la respuesta muscular del ser humano a dichos estímulos. Por otra parte, la interacción entre la computadora y el dispositivo háptico es llamada "Lazo de control" en el ambiente recibe las posiciones del dispositivo a través de sus sensores y regresa las fuerzas necesarias mandando señales de control a los motores del dispositivo.

Con esta interfaz es posible estimular los sentidos visua*l* y táctil del ser humano y se logra una inmersión con el ambiente virtual, ya que el usuario utiliza el dispositivo con su mano.

Para la caracterización biomecánica de un tejido se utiliza el lazo kinestésico para obtener oposición del tejido a deformar y así registrar esa información. Con el lazo de control se programa una trayectoria ascendente descendente trapezoide que simule la presión que ejercería un dedo haciendo contacto con la superficie.

Existen diferentes dispositivos hápticos, ver Fig. 4, entre los cuales destacan el Falcon de la compañía Novint [7] y los dispositivos Phantom Omni y el Phantom Premium de la marca Sensable [8] sin embargo el dispositivo elegido fue el Phantom Premium 1.0 un dispositivo Háptico de propósito general [9] según la clasificación de cómo interactúa con el operador humano.

El Phantom Premium 1.0 realiza sensado de posición en X, Y y Z, efectuando respectivamente la retroalimentación de fuerzas. Tiene una inercia (masa aparente) sin el encoder gimbal de 0.077110kg [8] igual a 0.075kg. Cuenta con una rigidez de 3.5N/mm. Los motores de corriente continua con que cuenta permiten que este ejerza continuamente una fuerza (en posición nominal) de 1.4N. Posee una fricción de 0.04N [10].

Dicho sensado es posible dado que Phantom Premium 1.0 cuenta con encoders HEDM-5500-B02 de dos canales de salida con pulso óptico indexado, los cuales no requieren ajuste de señal, tienen una resolución mayor a 1024 puntos por revolución, un rango de operación de - 40ºC a 100ºC, compatible con TTL (*Lógica Transistor a Transistor*), es alimentado a 5 volts nominales. Dicho encoder permite la conversión de una señal rotatoria de un eje a dos o tres canales de salida digital, y cuenta con las siguientes especificaciones técnicas [11].

Phantom Premium 1.0 tiene una resolución en posición nominal de 860dpi (puntos por pulgada), el equivalente a 0.03mm y un alcance de movimiento semejante al de una mano al girar la muñeca. Este dispositivo debe ser inicializado en una posición neutral, en esta posición, el delgado tendón de conexión se encuentra en estado horizontal, el botón interruptor sobre este punto también debe encontrarse en posición horizontal [12].

Fig. 4 De izquierda a derecha: Dispositivo Phantom Omni, Phantom Premium y Falcon Novint.

Efector Final Phantom Premium

Para realizar la caracterización se diseñó un efector final diferente al incluido en el dispositivo (ver Fig. 5), el cual cumple con las 2 siguientes funciones:

- Ejercer suficiente presión en el tejido a caracterizar.
- Ejercer una deformación en el tejido uniforme para su medición.

Fig. 5. Efector final tipo media esfera.

Aplicación de Control

Con el efector colocado en el dispositivo háptico era necesario definir una trayectoria que pudiese ser analizada para generar nuestra caracterización por lo que se programó una trayectoria trapezoidal, la cual, varía en posición y velocidad durante un periodo de 33 s, bajo un control PID. La velocidad deseada de acción es de 0.05cm/s, ver Fig. 6.

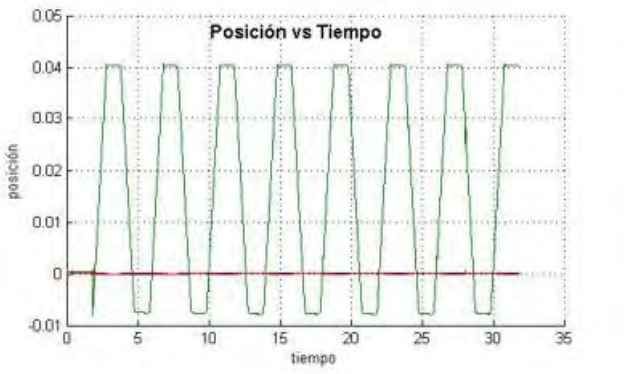


Fig. 6. Grafica de control y posición del robot.

El código necesario para realizar este control en *Visual Estudio 2008* es el siguiente:

```
HDErrorInfo error;
hduVector3Dd position;
hduVector3Dd force;
hduVector3Dd positionTwell;

HHD hHD = hdGetCurrentDevice();

hdBeginFrame(hHD);

hdGetDoublev(HD_CURRENT_POSITION, position);

memset(force, 0, sizeof(hduVector3Dd));

double Fx, Fy, Fz;
Fx=Fy=Fz=0;

t += 0.001;

double pi = 3.1415926535;
double f = 0.5;
double radio = 50.0;

periodo = 8.0;
tt += 0.001;

if (tt <= periodo/4)
posY_d = posUp + (posDown-posUp) * tt/(periodo/4);

if ((tt > periodo/4)&&(tt <= periodo/2))
posY_d = posDown;

if ((tt > periodo/2)&&(tt <= 3*periodo/4))
posY_d = posDown + (posUp-posDown)*(tt-
periodo/2)/(periodo/4);

if (tt > 3*periodo/4)
posY_d =posUp;
```

```
if(tt > periodo)
tt = 0;

velX = (position[0] - posX_1)/0.001;
velY = (position[1] - posY_1)/0.001;
velZ = (position[2] - posZ_1)/0.001;

posX_1 = position[0];
posY_1 = position[1];
posZ_1 = position[2];

double Kp = 0.1;
double Kd = 0.0001;

//------------------------------          PD fuerza
Fx = -Kp*(position[0] - posX_d)-Kd*velX;
Fy = -Kp*(position[1] - posY_d)-Kd*velY;
Fz = -Kp*(position[2] - posZ_d)-Kd*velZ;

//--------------------------Trapezoide de Fuerza

fprintf(FuerzaD,"%f %f %f %f %f
\n",t,position[0],position[1],position[2],NI_DAQ);
printf("%f %f %f %f %f
\n",t,position[0],position[1],position[2],NI_DAQ);

force[0]=Fx;
force[1]=Fy;
force[2]=Fz;

hdSetDoublev(HD_CURRENT_FORCE, force);
hdEndFrame(hHD)
```

Tejido a Caracterizar

En este trabajo se analizaron las propiedades del tejido de hígado de res por su fácil adquisición para realizar la prueba, el pedazo de carne debe formar un cubo de 5cm x 5cm x 5cm, ver Fig. 7, el cual se colocara sobre el sensor de Fuerza y deberá ser presionado por el efector final siguiendo la trayectoria trapezoidal definida en el control PID.

Fig. 7. Cubo de Carne de 5 cm x 5 cm x 5cm.

Plataforma Experimental

Con los componentes antes mencionados conjuntados obtenemos la plataforma experimental mostrada en la Fig. 8.

Con ella se realizaran 3 experimentos de los cuales se obtuvieron un conjunto de datos que a continuación se analizarán con el programa MATLAB.

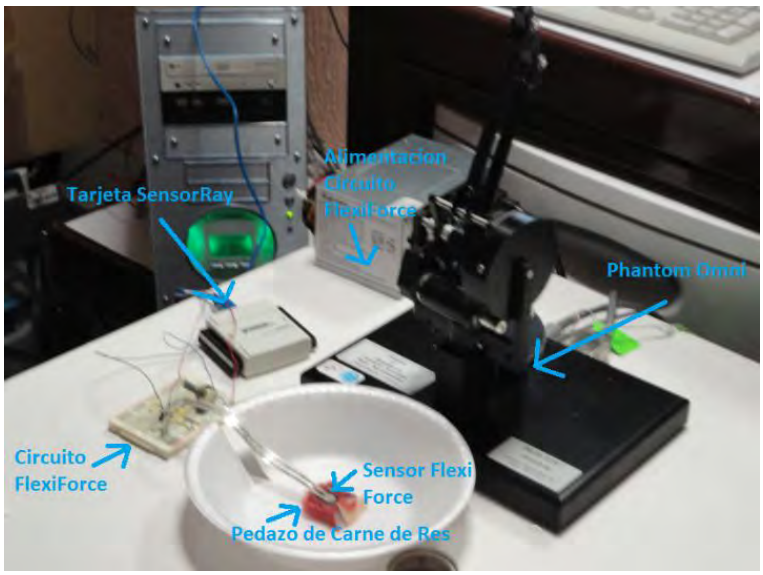


Fig. 8. Plataforma Experimental

Generación del modelo

Con los valores obtenidos se procede a generar la ecuación a partir de cada uno de los 3 experimentos realizados. Estas ecuaciones se obtienen utilizando todos los valores adquiridos durante el experimento y buscando un polinomio que los represente todos los valores en conjunto.

Para llevar a cabo esta parte fue necesario ocupar la función Polyfit [13] de MATLAB con la cual se obtiene un polinomio representativo a dichos valores. El código de MATLAB utilizado fue el siguiente:

```
clc
close all;
DATA=load('Data_1.txt');
t     = DATA(:,1);
PosicionX    = DATA(:,2);
PosicionY    = DATA(:,3);
PosicionZ    = DATA(:,4);
```

```
force       =
DATA(:,5);plot(t,force,'r');
hold on;
coef = polyfit(t,force,30);
new_x = 0.001:30;
new_t = polyval(coef  ,new_x);
plot(new_x,new_t,'b')
```

Los 3 modelos obtenidos fueron los siguientes:

1. $-0.5985x^2 + 2.3124x - 0.0199 = F$
2. $-0.6178x^2 + 2.0723x - 0.0434 = F$
3. $-0.5772x^2 + 2.7643x - 0.0287 = F$

donde: x = Deformación del Tejido
F = Fuerza de respuesta debido a la deformación

Una vez obtenidas las ecuaciones, se calculó la media aritmética de los coeficientes para obtener finalmente el siguiente modelo de tejido de res:

$$-0.59783x^2 + 2.383x - 0.0306 = F$$

Con dicho modelo, se muestra a continuación la gráfica comparativa entre los datos originales en rojo y la aproximación polinomial en azul, ver Fig. 9. Donde podemos observar en color rojo los valores de fuerza representativos al tejido adquirido en el experimento y en color azul la aproximación al tejido utilizando la ecuación resultante de los valores del polyfit.

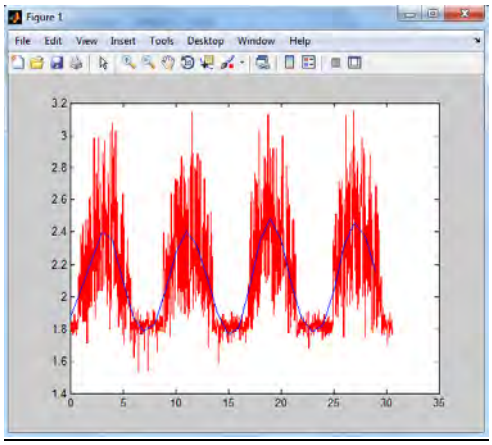


Fig. 9. Gráfica comparativa: datos originales en rojo, contra el ajuste polinomial en azul.

Conclusiones

Este documento presenta una metodología experimental para llevar a cabo una caracterización biomecánica de tejido de res por lo que es posible realizar dicho procedimiento para la creación de simulaciones realistas desde el punto de vista táctil. También se mostró como efectuar una trayectoria trapezoidal con el Phantom Omni la cual permitió controlar nuestro robot para realizar la tarea de presionar el tejido, este control puede ser sustituido por otro sin embargo se debe garantizar que las muestras sean iguales en cada repetición.

Se propone como trabajo a futuro establecer este modelo con respecto al tiempo de descomposición del tejido ya que las muestras utilizadas para este experimento poseían más de 5 días de muerte del animal.

Referencias

[1] http://www.misionmilagro.sld.cu/vol2no1/rev4.php. Fecha de consulta: 29/06/2011
[2] Miralles I. Miralles R. Biomecánica clínica de las patologías del aparato locomotor. Masson, 1ª. Edición, 2007.
[3] http://www.tekscan.com/flexiforce.html. Fecha de consulta: 29/06/2011
[4] http://www.tekscan.com/flexible-force-sensors. Fecha de consulta: 29/06/2011
[5] http://www.tekscan.com/pdf/FlexiForce-Sensors-Manual.pdf. Pág.9, fecha de consulta: 29/06/2011
[6] http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987. Fecha de consulta: 29/06/2011
[7] http://www.novint.com/index.php?option=com_content&view=article&id=39&Itemid=175 Fecha de consulta: 29/06/2011
[8] PHANTOM PREMIUM User Guide, SensAble Technologies. 2004.
[9] http://dac.escet.urjc.es/rvmaster/rvmaster/asignaturas/mcdh/t4_clasificacion.pdf. Fecha de consulta: 30/06/2011
[10] PHANTOM PREMIUM User Guide, SensAble Technologies, Part #02321 Revision 2.0, Noviembre 18. 2004.
[11] Háptic SensAble PHANTOM, SensAble Technologies. 2003.
[12] Specifications Comparison for the Phantom Premium 1.0,1.5,1.5 High Force y 3.0 Haptic Devices 1993. 2006 SensAble Technologies. Enero 6. 2006.

[13] http://www.mathworks.com/help/techdoc/ref/polyfit.html Fecha de consulta 1/07/2011
[14] http://www.computer.org/portal/web/csdl/abs/html/trans/th/2011/03/tth2011030153.htm
Fecha de Consulta: 9/ 09/2011.
[15] "Biomechanical characterization with inverse FE model parameter estimation: Macro and Micro applications" Bummo Ahn, Youngjin Kim, and Jung Kim Institute of Science and Technology, Daejeon, Korea Oct. 14-17, 2008
[16] "Biomechanical Characterization of Needle Piercing Into Peripheral Nervous Tissue" Pier Nicola Sergi IEEE Transactions on Biomedical Engineering, VOL. 53, NO. 11, NOVEMBER 2006
[17] "Understanding Perceptual Boundaries in Laparoscopic Surgery" Pablo Lamata*, Enrique J. Gómez, Félix Lamata Hernández. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 55, No. 3, March 2008
[18] "Multi-sensory force/deformation cues for stiffness characterization in soft-tissue palpation" M. Tavakoli, A. Aziminejad, R.V. Patel, M. Moallem New York City, USA, Aug 30-Sept 3, 2006.

EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 61. Volumen 4(2), 7 páginas.

SISTEMA PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DOMÉSTICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA. APLICACIÓN DE LA ECONOMÍA DEL COMPORTAMIENTO.

Armando Mora Campos[1], Leonardo Rivera Velázquez[1], Hernando Chagolla Gaona[1], Rodrigo Rodríguez Rubio[1]

Resumen

En este artículo se presenta un sistema electrónico que monitorea, evalúa y transmite vía Internet el consumo doméstico de energía eléctrica en Kilowatts-hora. Con el uso de este equipo, los usuarios pueden consultar en Internet sus estadísticas de consumo diario, semanal y mensual y realizar planes de ahorro de energía eléctrica, mediante la modificación de sus hábitos de uso. El objetivo es ofrecer al consumidor promedio información inmediata y fácil de asimilar, para que puedan cumplir con el precepto de que la forma menos costosa y más rápida de reducir las emisiones de carbono es mejorando su comportamiento de consumo. Con el sistema desarrollado se trata de motivar a las personas para que realicen pequeños cambios en sus vidas, que aumenten la eficacia en el consumo de energía eléctrica de sus hogares y reduzcan las pérdidas de energía sin sacrificar su confort, aplicando la teoría de la economía del comportamiento.
Palabras clave: economía del comportamiento, monitoreo de energía eléctrica, Internet.

Summary

This paper presents an electronic system that monitors, evaluates and transmits via the Internet the electricity home consumption in kilowatt-hours. By using this equipment, the users can view their consumption statistics on the Internet daily, weekly and monthly to make electric energy saving plans, by modifying their use habits. The target is to offer information immediate and easy to assimilate to average consumer, in order to fulfill the precept that the cheapest and quickest way to reduce carbon emissions is improving the consumer behavior. With the developed system, we will try to motivate people to make small changes in their lives, to increase efficiency in electricity consumption of their homes and reduce energy losses without sacrificing comfort, applying the theory of behavioral economics.
Keywords: Behavioral Economics, Electrical Power Monitoring, Internet.

Introducción

La Convención Marco de las Naciones Unidas [1] define el cambio climático que actualmente enfrenta la humanidad, como un "cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables". Además del calentamiento global, el cambio climático implica cambios en otras variables como las lluvias globales y sus patrones, la cobertura de nubes y todos los demás elementos del sistema atmosférico.

Una de las alternativas es reducir el consumo de energía eléctrica, ya que su producción está relacionada en la mayoría de los casos con la quema de recursos naturales no renovables y por ende con la generación de gases tipo invernadero. Para ello el usuario debe tener conocimiento en tiempo real de sus estadísticas de consumo y no solo del valor de la facturación en un periodo determinado. Esta información puede ser proporcionada por un medidor de energía inteligente (kilowatthorímetro digital), ya sea facilitado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) o adquirido por el mismo consumidor.

[1] Instituto Tecnológico de Querétaro, Campus Centro Av. Tecnológico s/n esq. Mariano Escobedo, Querétaro, Qro. CP 76000. Tel. 01 (442) 2274421. E-mails: amora@mail.itq.edu.mx - leonardo_riveravelazquez@yahoo.com.mx - hchagollag@hotmail.com - rrodriguez@mail.itq.edu.mx

La CFE está en proceso de actualización tecnológica en la medición del consumo de sus clientes domésticos, a través del cambio de los *contadores* electromecánicos por otros digitales. Pero si bien con este cambio la empresa tiene mayor certeza en el cobro de la energía consumida, los clientes siguen sin ser beneficiados con información que les permita definir planes personales de ahorro de energía. Así que la necesidad de información de consumo por parte de los usuarios domésticos sigue vigente.

En general, la mayoría de los usuarios solo tienen la cifra del consumo de energía en forma mensual o bimestral, la cual no es una información representativa de lo que sucedió en ese periodo. En ese momento, es tarde para hacer algo al respecto y solo resta pagar la cuenta. Se necesita un medio en tiempo real para estudiar y ajustar el consumo, en orden de ahorrar energía y dinero cada día. Y si además ese medio es de fácil acceso (celular, computadora, etc.), los usuarios no dudarían en tomar en cuenta esta información para reducir su consumo todos los días, realizando acciones simples, como apagar o desconectar aparatos eléctricos que estén innecesariamente consumiendo energía.

En el estado de la técnica se encuentran equipos de monitoreo representativos. La patente No. US7747399B2 [2] describe un sistema para medir y monitorear el consumo de energía en una vivienda, negocio u otro tipo de edificio. Consiste de un nodo transmisor conectado a la entrada de suministro o en una sección del circuito, que mide y envía la información de consumo en forma inalámbrica a uno o varios nodos receptores. El nodo transmisor incluye un circuito que calcula la diferencia entre la tensión actual y valores de tensión almacenados, para determinar el cambio de la tensión de suministro a través del tiempo y con ello apoyar la detección de la cantidad de electricidad consumida. Los nodos receptores pueden procesar, almacenar, comparar con datos de Internet o exhibir la información de consumo, además de activar alarmas en respuesta a la ocurrencia de al menos un evento de consumo preestablecido. Otro ejemplo es la patente No. US7231482B2 [3], donde se describe un método y sistema para monitorear un medidor de energía y transmitir un mensaje de estado por medio de un interface de comunicación universal a un receptor remoto. Además de la medición actual del contador de electricidad, se monitorea la pérdida o aumento de potencia, especificado por una condición de bajo o alto nivel en las señales de corriente o voltaje.

En las patentes mencionadas, se observa que estos sistemas proporcionan al usuario información completa sobre el consumo de energía eléctrica en su vivienda y que si incluyen otras funciones, son para apoyar la medición de energía o para evaluar la operación del sistema eléctrico en función del mismo consumo. Como resultado de estos y otros instrumentos legales de propiedad industrial, en el 2009 emergieron varias compañías que ofrecen módulos de monitoreo de energía, como *The Energy Detective* [4] y OWL [5] (ver Fig. 1). Algunas empresas también ofrecen herramientas en línea y otras alientan el ahorro mediante la modificación del comportamiento del consumidor, como Opower [6]. Estos aparatos y equipos comerciales si pueden utilizarse en el mercado mexicano, pero sus características no igualan exactamente las condiciones de suministro, tarifas y periodos de facturación de CFE, por lo que aún existe la necesidad de equipos de monitoreo de energía eléctrica que tomen en cuenta el tipo de alimentación y forma de cobro que tenemos en México y que además sea factible comercialmente, tomando en cuenta las características económicas y culturales de nuestra sociedad.

Lo anterior lleva a plantear el objetivo de diseñar y construir un aparato monitor e indicador del consumo de energía eléctrica, enfocado a las condiciones de suministro y tarifas domésticas en nuestro país, por medio de circuitos integrados medidores de energía y microcontroladores, para que los usuarios tengan información a su alcance para llevar a cabo planes y acciones de ahorro de energía. Al apoyar a los usuarios interesados en reducir su consumo de energía, se busca mantener la sustentabilidad de la comunidad, mediante el soporte de un futuro con energía limpia.

(a) *(b)* *(c)*

Fig. 1. Equipos comerciales de monitoreo de energía eléctrica en viviendas, a) serie TED-1000, b) serie TED 5000 y c) monitor inalámbrico OWL.

Si los usuarios en viviendas acceden a su información de consumo de una manera sencilla y en tiempo real, pueden ajustar voluntariamente el uso de la energía y obtener ahorros del 5% al 15% en su facturación.

La economía del comportamiento estudia los aspectos psicológicos de la economía, considerando a las personas no como objetos económicos, sino como seres humanos con limitaciones y emociones que influyen en su toma de decisiones [7] - [9]. En este caso, el objetivo es evaluar la decisión que toma el usuario doméstico cuando tiene un equipo que le proporciona información del uso de la energía eléctrica en su vivienda, al saber cuánto dinero puede ahorrar con sus acciones y su cambio de hábitos de consumo.

Materiales y métodos

La empresa de Internet Google, a partir de sus políticas de acceso a la información, puso a la disposición de la comunidad mundial, un servicio gratuito para el monitoreo de energía por Internet llamado PowerMeter [10]. Google PowerMeter habilita al usuario a observar las estadísticas de consumo de su propia casa desde cualquier lugar, a través de un *gadget* iGoogle basado en Web.

Como un socio estratégico de Google, la empresa Microchip incorpora esta tecnología en su oferta de sistemas embebidos [11], creando el soporte que facilita el desarrollo de productos compatibles con PowerMeter. A partir de una implementación de referencia (ver Fig. 2), Microchip demuestra la activación del dispositivo, la transmisión de datos y mensajes de estado, utilizando las herramientas de desarrollo disponibles. Esto puede ser usado como un patrón para desarrollar diseños propios.

Sin embargo, la compañía de Internet Google anunció el cierre de PowerMeter, después de varios años en funcionamiento sin lograr atraer a un número suficiente de usuarios. PowerMeter nació en 2009 como un proyecto para concientizar sobre la importancia de que la población esté informada sobre su consumo energético y dejará de operar el 16 de septiembre del 2011. Con su apertura se aprendió a utilizar esta tecnología, logrando familiarizarse al grado de desarrollar un prototipo funcional. La noticia es que dada la importancia de mantener informada a la población sobre sus estadísticas de consumo, otras compañías ofrecen un servicio similar [12], utilizando un hardware equivalente. Las alternativas disponibles son: Plotwatt, it´selectric, MyEnerSave, MyEragy, etc. De igual manera, existen varias aplicaciones gratuitas de monitoreo de energía eléctrica en el hogar para los celulares inteligentes (TED-O-Meter, People Power 1.0, MiraWatt T5K, etc.).

El sistema que se presenta, permite a los usuarios monitorear la utilización de la energía eléctrica en una vivienda con suministro monofásico. El monitor de energía mide la potencia activa y el consumo en watts-hora (Wh) de una casa-habitación durante el periodo de facturación (1 ó 2 meses) y a su vez envía la información a un módulo electrónico conectado al sitio web de PowerMeter, donde se respaldan, grafican y exhiben las lecturas adquiridas. El uso de este equipo permitirá evaluar, en una segunda etapa del proyecto, su impacto económico y social de acuerdo a los fundamentos de la economía del comportamiento.

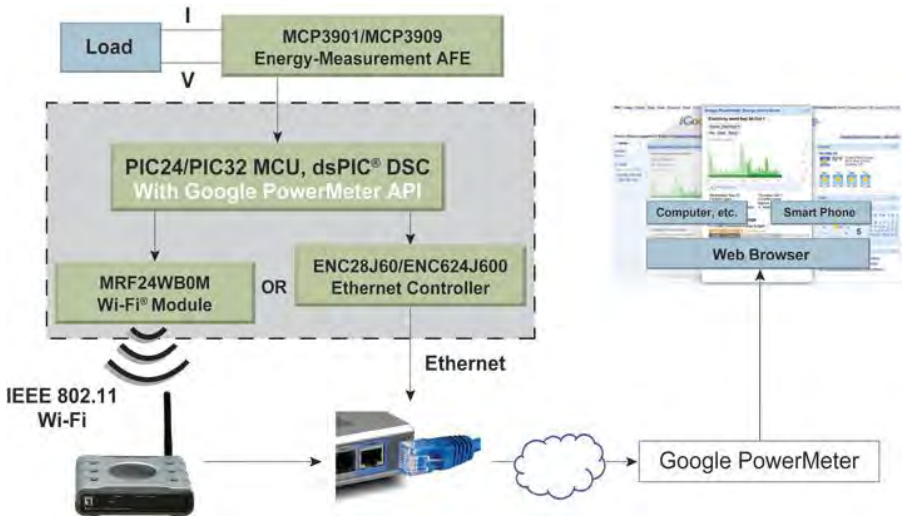


Fig. 2. Referencia del sistema desarrollado utilizando tecnología de las empresas Google y Microchip.

Hardware del monitor de energía

El monitor de energía (ver Fig. 3) se diseña alrededor de un microcontrolador Microchip de 8 bits (PIC18F4520) [13], que recibe una señal pulsante con la información de potencia activa y consumo de energía de un circuito integrado de la gama que ofrece la empresa Analog Devices [14] para sus aplicaciones de medición y monitoreo de Energía (AD71056). El microcontrolador procesa la señal recibida y respalda el dato de energía cada cierto tiempo en una memoria EEPROM (24LC512), almacenando también la fecha y hora de la lectura, información que se obtiene de un circuito de reloj en tiempo real (DS1307). La potencia activa se promedia durante 10 minutos y se envía inalámbricamente a un módulo electrónico basado en la tarjeta *Explorer 16* de Microchip [15], el cual se conecta a un encaminador de internet que lo liga al sitio web PowerMeter de Google.

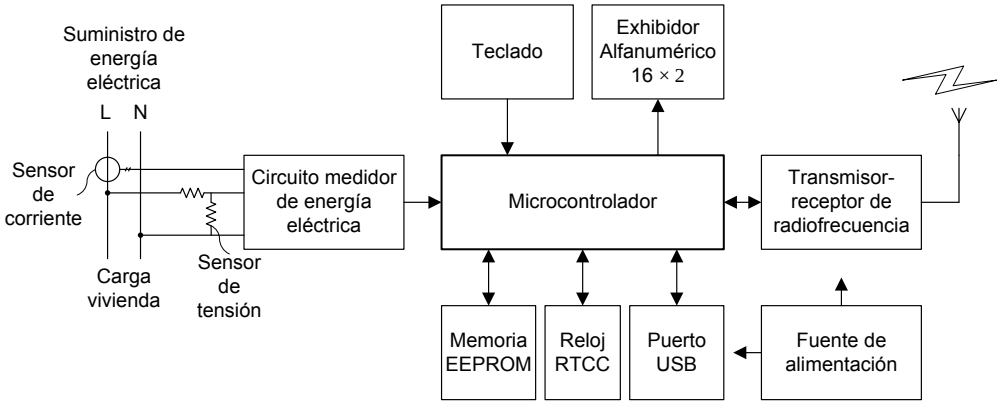


Fig. 3. Estructura general del monitor de energía eléctrica.

La comunicación inalámbrica entre el monitor de energía y la tarjeta *Explorer 16* se realiza por medio de un transmisor-receptor de radiofrecuencia (RFM12-915), que utiliza la banda libre ISM (del inglés *Industrial*, *Scientific* and *Medical*) de 915 MHz, en base a un protocolo propietario de transmisión de mensajes, que incluye tolerancia ante errores y mecanismos de protección contra interferencias.

El monitor respalda la energía consumida con el objetivo de poder trabajar en forma independiente, sin necesidad de un enlace a Internet. Para ello incluye una interfaz básica hombre-máquina (teclado *up*, *down* y *enter* y exhibidor alfanumérico 16×2), con la que se puede observar la información histórica del consumo de los últimos 2 meses. También se cuenta con un puerto USB, para descargar los datos de la EEPROM a una computadora personal. Se recomienda inicializar la información de consumo respaldada en memoria al inicio de cada periodo de facturación, para que los datos almacenados coincidan con el recibo de CFE y así sea más fácil comparar y evaluar el consumo en la vivienda en el periodo citado.

El circuito medidor de energía eléctrica se realiza alrededor del AD71056 [16], el cual es un circuito CMOS de medición de energía de alta exactitud, con un error menor del 0.1% sobre el rango dinámico de 500 a 1. Este circuito utiliza dos convertidores de analógico a digital de 16 bits tipo Σ-Δ, trabajando a una tasa de muestreo de 450 kHz, para digitalizar las señales instantáneas de tensión que provienen directamente de los sensores de corriente y tensión, una resistencia *shunt* y un divisor resistivo respectivamente.

La manera más adecuada para interconectar el AD71056 a un microcontrolador es utilizando su salida de calibración de alta frecuencia CF (del inglés *Calibratión Frequency Logic Output*), la cual proporciona información instantánea de la potencia real de la carga. Esta salida se conecta a un contador para acumular el número de pulsos en un tiempo de integración específico, utilizando un temporizador. La potencia real en W de la carga es proporcional a la frecuencia de la salida CF y cada pulso equivale a un determinado consumo de energía en Wh, tal como se define en (1) y (2).

$$Potencia\_real \approx Frecuencia\_CF = \frac{Contador}{Tiempo} \tag{1}$$

$$Energía = Potencia\_real \times Tiempo \approx \frac{Contador}{Tiempo} \times Tiempo \approx Contador \tag{2}$$

Se utiliza una fuente sin transformador, para obtener la tensión de +5V que alimenta a todos los componentes del sistema electrónico desarrollado.

Software del monitor de energía

El microcontrolador del monitor de energía está programado en lenguaje C, utilizando el compilador PCWH de la empresa CSS [17]. La función principal del programa (ver Fig. 4) comienza con la inicialización de los periféricos e interfaces internas (puertos paralelos, temporizador/contador de 16 bits e interfaces de comunicación USB, RS-232 e IIC), para continuar con la configuración de los dispositivos externos (exhibidor alfanumérico y reloj de tiempo real). Si en el momento de energizar el monitor, el usuario mantiene oprimida la tecla *enter*, se accede a la función de configuración general; de lo contrario el sistema inicia la medición de potencia y energía con los parámetros de operación previamente establecidos.

En la función de configuración general se exhibe un menú con las opciones que permiten manipular los parámetros de operación del sistema. En el menú se presentan las funciones para modificar la fecha y hora del reloj de tiempo real, descargar los datos de la memoria EEPROM a una PC vía el puerto USB, borrar la memoria EEPROM, calibrar el monitor e iniciar la medición. Dentro de la opción de calibración, se solicita la constante *pulsos/Wh* y la constante de la relación *potencia/frecuencia*. El usuario selecciona e introduce los parámetros de cada función por medio de las teclas *up*, *down* y *enter*.

Una vez ejecutadas las funciones de inicialización y configuración, el sistema de medición de energía ejecuta las tareas de adquisición y procesamiento, respaldo en memoria EEPROM, transmisión inalámbrica y exhibición, programadas con las directivas y funciones del sistema operativo en tiempo real tipo cooperativo, que incluye el compilador PCWH.

Resultados

El resultado obtenido es el primer prototipo de un sistema electrónico para monitorear el consumo de energía eléctrica en una vivienda, que envía la información de potencia real por radiofrecuencia a una tarjeta Microchip *Explorer 16* conectada a un encaminador de Internet. Hasta el momento, el sistema está ligado al sitio web PowerMeter de Google. La aplicación PowerMeter apoya a los usuarios domésticos en el ahorro de la energía eléctrica, al proporcionarles información diaria, semanal y mensual de sus estadísticas de consumo vía Internet. La idea es que un consumidor promedio pueda tomar la decisión de modificar su comportamiento y hábitos de consumo si conoce cuanto ahorra por sus acciones, es decir, si conoce cuál es la recompensa por su esfuerzo, tal como lo define la teoría de la economía del comportamiento.

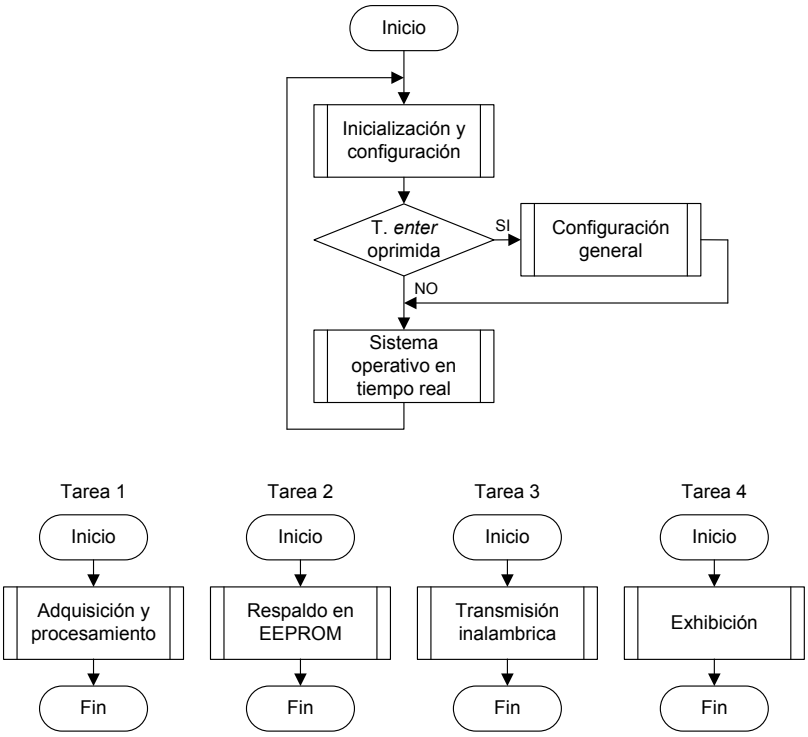


Fig. 4. Diagramas de flujo del programa principal y de las tareas del monitor de energía.

Las estadísticas que ofrece PowerMeter (ver Fig. 5) le indican al usuario cual es su carga fija, o sea el consumo que siempre está presente, además de su carga intermitente, señalando cual sería el costo anual si mantiene este comportamiento de consumo. Esta información le permite al usuario realizar acciones de ahorro todos los días y rápidamente observar sus efectos en el costo de la energía, por lo que la motivación para continuar ahorrando puede mantenerse y convertirse en un buen hábito.

Actualmente el monitor está siendo evaluado en laboratorio, emulando las condiciones de consumo doméstico que se pueden presentar, aplicando un proceso de prueba y error para eliminar los errores de diseño de hardware y software. El resultado final será un prototipo funcional y seguro, que pueda ser probado en campo con usuarios domésticos interesados en ahorrar energía.

Conclusión y discusión

Se ha presentado el desarrollo de un sistema que auxilia en el ahorro de la energía eléctrica, al monitorear el uso de la energía en viviendas y ofrecer a los usuarios sus estadísticas de consumo de una manera fácil de interpretar y acceder. El diseño y fabricación del prototipo se realizó utilizando circuitos electrónicos y herramientas de programación de última generación, junto con la implementación de referencia de monitores de energía eléctrica de las empresas Google y Microchip, para obtener un producto funcional, seguro y de bajo costo. El sistema resultante puede trabajar en forma independiente o en conjunto con la aplicación de Internet PowerMeter de Google. Aun cuando la aplicación de Google desaparece en septiembre del 2011, los conocimientos adquiridos en la ejecución del proyecto permiten modificar el sistema para que se vincule con aplicaciones similares, disponibles gratuitamente en Internet.

El trabajo realizado representa la primera parte de un proyecto mayor, que tiene como segunda fase la optimización del prototipo, para su reproducción y aplicación en la realización de auditorías energéticas en viviendas y negocios pequeños. A la par de los aspectos técnicos, se medirá la aceptación del monitor de energía por parte de consumidores potenciales, evaluando su impacto económico, al pretender ahorros de energía y dinero en el rango del 5% al 15% de la facturación en el periodo de medición de CFE. Ya que el monitor de energía eléctrica solo es un equipo auxiliar y que el verdadero ejecutante del proceso de ahorro es el mismo consumidor, para tomar en cuenta este factor humano se aplicará la teoría de la economía del comportamiento, la cual estudia las limitaciones y emociones de las personas que influyen en la toma de decisiones económicas. De acuerdo a los resultados que se obtengan, se tiene consideradas otras versiones del sistema monitor, desde uno más económico y de fácil manejo, hasta otro que además de monitorear el consumo de energía, realice un diagnóstico de la seguridad de operación de la instalación eléctrica de la vivienda.

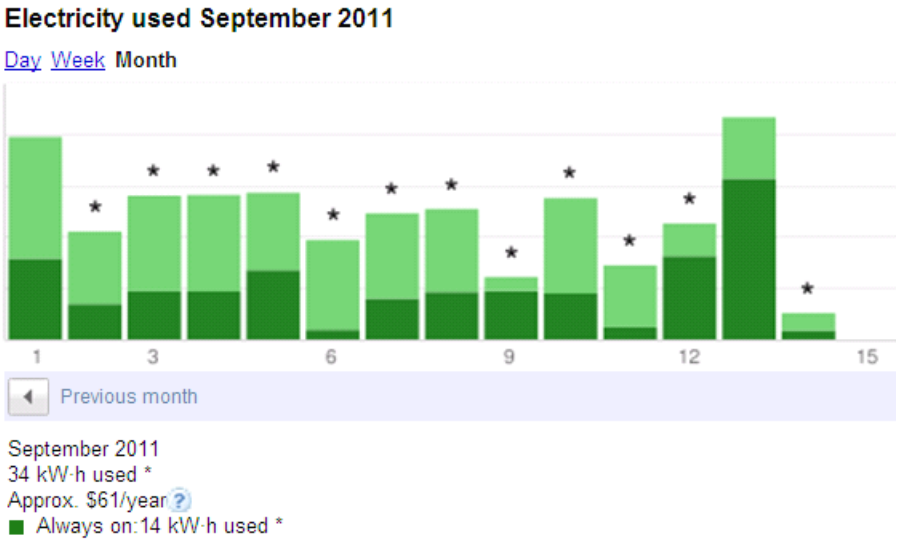


Fig. 5. Estadísticas mensuales de Google PowerMeter.

Referencias

[1] Naciones Unidas. “Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Rio de Janeiro. 1992.

[2] Smith, W. M. Desorbo R. A. “Home Energy Use Indicator”. Patente USA No. US7747399B2. 29 junio 2010.

[3] Leach M. “Method and System for Monitoring and Transmitting Utility Status Via Universal Communication Interfase”. Patente USA No. US7231482B2. 12 junio 2007.

[4] The Energy Detective Inc. “About TED”. 14 septiembre 2011. http://www.theenergydetective.com.

[5] OWL Inc., “Meet the OWL Family”, 14 septiembre 2011, http://www.theowl.com/index.php?page=about-owl.

[6] Opower, Inc. “Energy Efficiency”. 4 junio 2011. http://opower.com/.

[7] Cabello J. J. 29 Julio 2011. http://www.perceianadigital.com/index.php/economia/793-ique-es-la-economia-del-comportamiento.

[8] Diamond P. Vartiainen H. “ Behavioral Economics and Its Applications”. 2007. Princeton University Press. United Kingdom.

[9] Kremer M. Glennerster R. “Small Changes, Big results: Behavioral Economics at Work in Poor Countries”. Kindle eBook. USA. 2011.

[10] Google PowerMeter. “Save Energy. Save Money. Make a Difference”. 5 junio 2011. http://www.google.com/powermeter/about/index.html.

[11] Microchip Technology Inc. “Applications and Markets, PowerMeter”. 3 junio 2011. http://www.microchip.com/.

[12] Energy, Inc. 29 Julio 2011. http://www.theenergydetective.com/3rd-party-apps.

[13] Microchip technology Inc. “PIC 18F2420/2520/4420/4520 Data Sheet”. Microchip Technology Inc. DS39631E. USA. 2008.

[14] Analog Devices, Inc. “Metering & Energy Monitoring”. 13 septiembre 2011. http://energy.analog.com/en/metering-energy-monitoring/segment/nrg.html.

[15] Microchip, Inc. “Explorer 16 Development Board User´s Guide”. Microchip Technology Inc. DS51589A. USA. 2005.

[16] Analog Devices, Inc. “Energy Metering IC with Integrated Oscillator and Reverse Polarity Indication”. Analog Device AD71056 Data Sheet Rev. A. USA. 2006.

[17] CCS Inc. “PIC MCU C Compiler”. 14 septiembre 2011. http://www.ccsinfo.com/content.php?page=compilers.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 87. Volumen 4(2), 8 páginas.

ESTRATEGIAS DE AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE RIEGO DE CULTIVOS CON AGUAS RESIDUALES

(EL CASO DE TELTIPAN DE JUÁREZ, ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO)

Vicente Ayala Ahumada[1], José Dolores Juárez Cervantes[2]. Fernando Toledo Toledo[3], José M. Rodríguez Guerrero[4], Víctor M. Flores Altamirano

Resumen

En este trabajo se describen las estrategias formuladas para propiciar el ahorro y uso eficiente de energía eléctrica en sistemas de riego de cultivos con aguas residuales. Se aplican a un caso de estudio y se presentan los resultados más relevantes derivados de trabajos de campo y gabinete, mediante los cuales se identificaron problemas eléctricos, hidráulicos y mecánicos, que dieron origen a la generación de propuestas para su optimización, mismas que estuvieron basadas en el análisis fisicoquímico del agua empleada para el riego y mediciones de calidad de energía en la red eléctrica de la estación de bombeo, entre otros aspectos. Se presentan las recomendaciones de orden general emanadas de las experiencias que dejó el desarrollo del proyecto que pueden ser de especial interés para muchas de las comunidades agrícolas que existen en México y que tienen características similares a las del caso de estudio.

Palabras clave: ahorro de energía, uso eficiente de energía eléctrica, sistemas de riego agrícola, aguas residuales.

Abstract

The purpose of this paper is to present some strategies in order to save energy and to propitiate efficient use of electric energy in watering cultivations systems that use residual water. The strategies are applied to a study case and it presents the results obtained with cabinet and field work. Also, are mentioned the electrical, hydraulic and mechanical more relevant problems, and the proposal offer solution with specific recommendations in order to optimize the operation watering system of Teltipan town localized in Hidalgo State.

Keywords: save energy, efficient use of electric energy, watering cultivations systems, residual water.

Introducción

La gran escasez de agua para atender a las zonas urbanas y la cada vez mayor dependencia de los sistemas de riego para la producción de cultivos agrícolas en zonas de rápido crecimiento demográfico, han propiciado que aumente el interés a nivel mundial en el reuso de este vital líquido.

La discusión en diferentes foros internacionales sobre el uso de aguas residuales ha permitido identificar aspectos de carácter social, económico, político y ambiental de gran relevancia.

Algunos beneficios logrados por lo anterior son: Obtención de grandes cosechas en extensiones considerables de tierras semiáridas e improductivas, alto rendimiento por unidad de superficie cultivable debido a sus cualidades fertilizantes, generación de empleos en áreas de alta migración como son las zonas rurales áridas.

[1] Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Departamento de Energía, Área Eléctrica. Av. San Pablo 280 Colonia Reynosa Tamaulipas, Delegación Azcapotzalco. C.P. 02200 México D.F. Teléfonos 53189049, 5318-9050, 5318-9051, 5318-9053. Fax: 5318-9055. Correo electrónico: ava@correo.azc.uam.mx ; vicenteo1948@hotmail.com

[2] Idem 1. jjc@correo.azc.uam.mx

[3] .Idem 1. ftoledo2@hotmail.com

[4] Idem 1. joma_485@hotmail.com

Su aplicación planeada en tierras agrícolas evita que se realicen descargas de drenajes en los cuerpos de agua superficiales, con lo que se reduce la contaminación de este vital recurso. Sin embargo, dentro de las desventajas están los riesgos para la salud pública y deterioro en la calidad del ambiente, que requieren de una evaluación permanente para coadyuvar a que el agua residual se utilice de manera racional y segura en la producción agrícola.

Existen estudios que señalan con claridad las fuerzas sociales que han definido la evolución de los estándares microbiológicos para el uso del agua residual [1]. Hasta principios de la década de los ochenta los criterios sobre la calidad y uso de agua para riego agrícola exigían niveles de pureza equivalentes a los del agua potable; con esta idea se formularon los estándares del estado de California [2], que posteriormente fueron retomados como guía internacional por muchos países en desarrollo; sin embargo, para los que se empeñaron en alcanzar dichos estándares, el desafío significó inversiones difíciles de sostener; incluso representó serios problemas técnicos en sociedades industrializadas.

En un trabajo de investigación realizado por expertos en el Valle del Mezquital del Estado del estado de Hidalgo, en donde se encuentran los distritos de riego más importantes de México, tanto por la superficie que abarcan como por el valor económico de su producción agrícola, se le identificó como el esquema de reuso de agua de mayor tamaño en el mundo [3].

El poblado de Teltipán de Juárez, se encuentra localizado dentro del municipio de Tlaxcoapan en el estado de Hidalgo (Fig. 1). Tiene una población aproximada de 3743 habitantes, de los cuales más del 80 % se dedica a la agricultura (cultivo de maíz, fríjol, chile, tomate, ejote, calabaza, entre otros). El terreno de la zona es de tipo rocoso o sedimentario. El clima que prevalece la mayor parte del año es semiseco templado y la temperatura media anual de 16 a 18° C. Para el cultivo de productos se usa una extensión territorial de 286 hectáreas. La zona está irrigada mediante técnicas de inundación por láminas y surcos con agua residual "cruda" que llega directamente de la Ciudad de México, a pesar de que la legislación vigente para las zonas de riego prohíbe el cultivo de vegetales que se consumen crudos.

Con el objeto de hacer el estudio correspondiente a la idoneidad de las bombas y del circuito del sistema de riego de cultivos, en el Laboratorio de Calidad de Agua y Residuos de la UAM-A se realizó el análisis fisicoquímico del agua residual empleada, basándose en las normas mexicanas NOM-002-ECOL-1996[4] y NMX-AA-51-81[5], cuyos resultados se muestran en la Tabla 1.

1. Problemas en la red eléctrica

La red está alimentada desde un circuito de distribución de 23 kV 60Hz, no cuenta con red de tierras y el suministro está contratado según se indica en la Tabla 2. Con el objeto de identificar las áreas de oportunidad para ahorrar y hacer un uso eficiente de la energía eléctrica que se consume en el sistema de riego, se realizaron una serie de mediciones y registros de campo en cuatro puntos diferentes de la red eléctrica (Fig. 2); aunque es recomendable realizar monitoreos por siete días más uno para validar los resultados, en este caso se hizo por cinco horas por razones de seguridad del equipo y de quien realizó las mediciones (hay que señalar que la estación de bombeo se encuentra en una zona alejada y aislada de la población); dicho periodo de tiempo se consideró aceptable dado que dentro de él se realiza un ciclo de riego por inundación de láminas y surcos que se repite cada día de la semana.

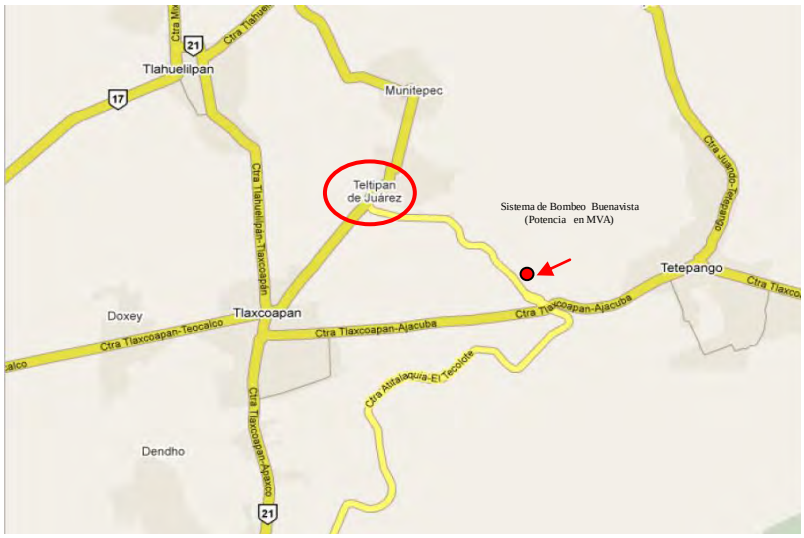


Figura 1. Plano de localización del poblado.

Tabla 1. Análisis fisicoquímico del agua residual.

Parámetros	Unidades	Resultados
Ph	unidades	7.42
Acidez	mg $CaCO_3$/L	90
Alcalinidad	mg/L	0
Sólidos suspendidos totales	mg/L	95.0
Sólidos disueltos totales (ρ)	mg/L	1077.33
Coliformes totales	UPC/100mL	incontables
Calcio	mg/L	1.699
Magnesio	mg/L	14.729
Dureza	mg/L	64.896
Sodio	mg/L	250.243

Tabla 2. Datos de registro ante LyF.

N° de Servicio	273 930 800 721
Tarifa	9M
Multiplicador	120
Carga conectada	365 kW
Carga contrada	365 kW

Los parámetros y características monitoreadas fueron: magnitudes de corrientes (I) y voltajes de línea (V); secuencia de fases; frecuencia; % de distorsión total por contenido de armónicas (THD) en voltajes y corrientes de línea; potencias activa (P), aparente (S) y reactiva (Q); factor de potencia (PF); energía activa (WP). La Tabla 3 muestra los resultados promedio en los cuatro puntos, y por razones de espacio la Fig. 3 sólo incluye las pantallas correspondientes al punto 2.

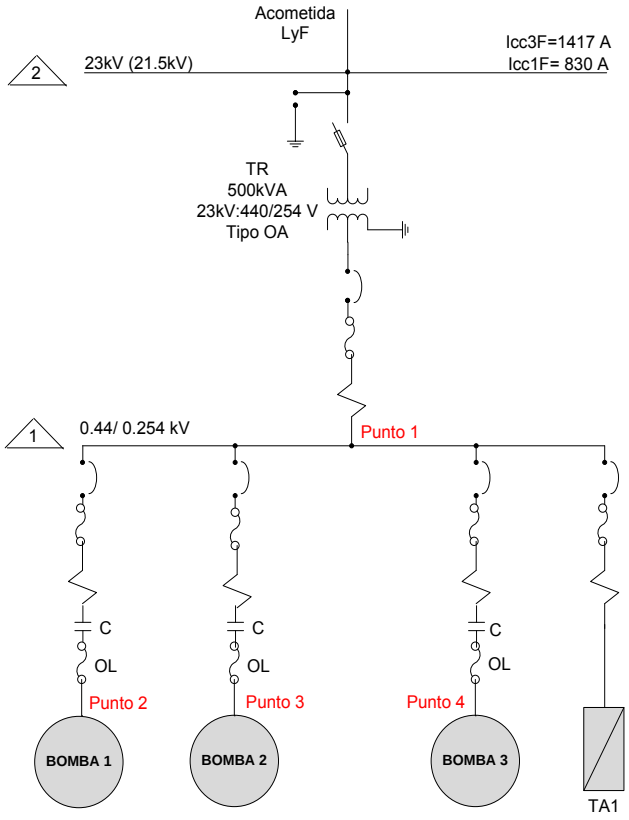


Figura 2. Diagrama unifilar de la red eléctrica.

Tabla 3. Resumen de resultados de mediciones.

Parámetro	Puntos			
	1	2	3	4
Sec. Fases	ACB	ABC	ACB	ACB
$V_{L\ PROM}$ (V)	439.7	436.5	416.1	415.4
% Desb. V_L	0.6	0.3	0.3	0.6
$I_{L\ PROM}$ (A)	620.3	210	269	155
F (Hz)	60.08	60.02	60.0	60.03
$\%THD_V$	1.0	1.3	0.8	1.1
$\%THD_I$	1.0	3.8	1.3	2.7
FP_{PROM}	0.83	0.813	0.872	0.902
$P_{MÁX}$ (MW)	0.399	0.128	0.170	0.101
P_{PROM} (MW)	0.383	0.128	0.155	0.100
W_P (MWh)	2.91	0.6338	1.7539	0.5181

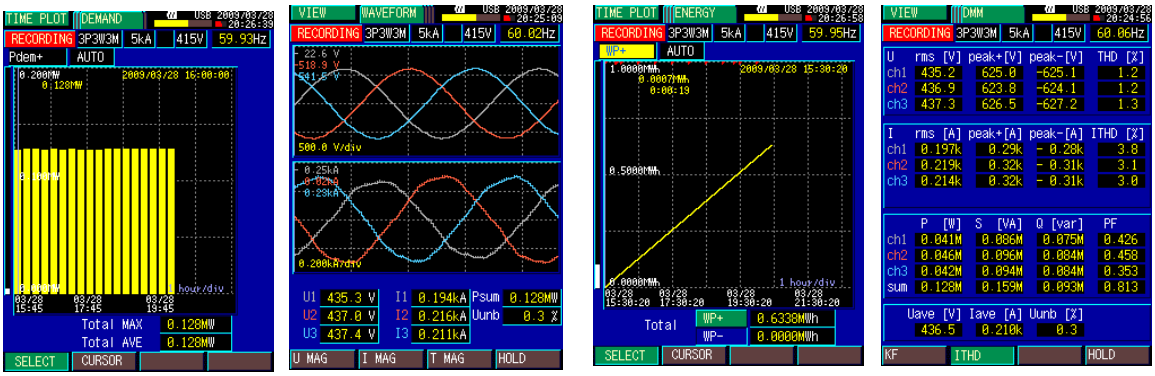


Figura 3. Pantallas correspondientes al punto de medición 2 (Bomba 1 de 250 hp).

2. Identificación de problemas en el sistema hidráulico

Descripción del sistema hidráulico

El sistema hidráulico inicia en una derivación del canal de aguas residuales provenientes de la Ciudad de México localizado en Atotonilco de Hidalgo. La entrada de agua del canal principal al cárcamo pasa a través de un conjunto de rejillas (Fig. 4) que tienen la finalidad de retener todo tipo de sólidos en suspensión y está regulada por una compuerta que permite el acceso del fluido y que mantiene el nivel de agua en el cárcamo, aunque esto no satisface la necesidad de la Bomba 1 para mantener sus tazones siempre en estado de lubricación (Fig. 5).

La red de tubería conectada a la Bomba 1 es de acero de 12” de diámetro y de 15” y 10” para la 2 y 3. La longitud total estimada es de 3000 m, a través de la cual están dispuestas de manera estratégica algunas válvulas de paso y boquillas terminales en los puntos de inundación de canaletas de concreto desde donde se inicia el riego de parcelas por gravedad. La estación de bombeo está integrada con tres motobombas eléctricas de montaje en superficie y con flecha hueca vertical, cuyas especificaciones básicas aunque incompletas, fueron rescatadas de documentos originales y se muestran en la Tabla 4.

Para determinar los requerimientos del gasto para el riego de un poco más de 250 hectáreas de terreno, fue necesario identificar y analizar el punto más crítico en donde la demanda de agua es mayor, y que correspondió a la Bomba 1 de 250 HP acoplada a una tubería de 12” de diámetro con 1343 m de longitud desde el eje de la bomba hasta el punto donde desemboca el agua para riego a una altura de 107 m. Se obtuvo el rendimiento de dicha bomba con un método analítico basado en el cálculo de su potencia hidráulica (PH_a) actual (1), lo que implicó realizar una prueba de campo con la que se determinó que tiene un gasto actual Q = 60 l/s (obsérvese en la Tabla 1 que el original era de 110 l/s).

$$PH_a = Q * P_b = 52524.36 \text{ W o } 70.40 \text{ HP} \qquad (1)$$

Figura 4. Canal interno conectado al cárcamo.

Tabla 4. Especificaciones básicas de las bombas.

Nº de bomba	HP	Altura manométrica (m)	Gasto (L/s)
1	250	83	110
2	250		
3	150	46	

P_b = presión de salida en la bomba calculada con (2):

$$P_b = \rho\, g\, h_b = 875{,}406.03 \text{ N/m}^2 \quad (2)$$

donde:

ρ = densidad del agua de reuso con sólidos disueltos obtenida a partir de la prueba fisicoquímica según la Tabla 1 (1077.33 kg/m^3).

g = valor de la gravedad terrestre en la zona geográfica donde se localiza la estación de bombeo (9.79 m/s^2)[6].

h_b = altura total manométrica de la bomba (43 m).

También, se calculó la velocidad V_1 (3) a la salida de la bomba con el Q actual de 60 L/s, para el área del tubo (A_T = 0.0729 m^2) de 12" de diámetro y considerando 3 m de pérdida por cada 100 m de longitud de tubo (L_T = 1343 m) con lo que se obtuvo una altura de pérdida h_P = 40.29 m:

$$V_1 = Q/A_T = 0.823 \text{ m/s}$$

3. Análisis de resultados y propuestas para propiciar el ahorro y uso eficiente de energía en la operación de la red eléctrica

El factor de potencia promedio es 0.83, valor menor a 0.9 establecido como mínimo por la normatividad, por lo que se recomienda emplear un sistema de compensación centralizada de potencia reactiva empleando capacitores conectados en paralelo. Con esta acción se evitará la penalización por bajo factor de potencia impuesta por la compañía suministradora, y al mismo tiempo se tendrán los siguientes beneficios:

- Reducción en la componente atrasada de la $I_{CIRCUITO}$.
- Elevación del voltaje de la carga.
- Reducción de pérdidas de potencia activa (I^2R) por reducción de la I_{CARGA}
- Reducción de pérdidas de energía reactiva (I^2X*T) por reducción de la I_{CARGA}
- Reducción de la demanda de S (kVA) un FP=1.0 puede resultar en grandes ahorros económicos, derivado entre otros factores por la *bonificación* en la factura debido a un FP superior a 0.9

El $\%THD_V$=1.3 registrado es menor al límite máximo permitido (8%) por la normatividad considerando que el voltaje operación de la red es menor a 1 kV[7].

El $\%THD_I$=3.8 registrado es menor al valor máximo permitido por la normatividad considerando la impedancia relativa de la red (I_{CC3F}/I_{Carga}=25.1) [8].

Figura 5. Flechas de las bombas en el cárcamo.

El desequilibrio de voltajes de línea en los puntos de medición está dentro del rango ± 3% del valor nominal por lo que se consideran bastante adecuados.

El rango de variación de frecuencia en los tres puntos fue de 59.93 a 60.11 Hz considerado como muy bueno por estar dentro del rango de ±3% del valor nominal (60 Hz).

La $P_{MÁX}$ en el punto **2** correspondiente a la Bomba 1 de 250 hp (0.1865 MW), fue de 0.128 MW, y si se compara con la potencia hidráulica actual (obtenida como parte del alcance de este proyecto) que entrega la bomba (52524.36 W o 70.40 hp), se confirma que el sistema es demasido ineficiente. Es probable que las bombas 2 y 3 tengan un problema similar. Por tal motivo, se recomienda que conjuntamente con las acciones recomendadas para el sistema hidráulico, se sustituyan las motobombas por unas de mayor eficiencia. La inversión inicial de dicha sustitución se amortizaría con el ahorro en el pago de energía eléctrica que este cambio conlleva, y del derivado del cambio de la tarifa contratada que se sugiere en la sección de consideraciones y estrategias adicionales que se presentan en este trabajo.

4. Análisis de resultados y propuestas para propiciar el uso eficiente y ahorro de energía en la operación del sistema hidráulico

Con las pruebas y los cálculos realizados se observó que la potencia hidráulica de la Bomba 1 con motor eléctrico de 250 hp, es de tan sólo 70.40 hp; se esperaría que el valor fuera del orden del 90% de la potencia eléctrica del motor, por lo que se concluye que dicha bomba ha estado trabajando con un bajísimo rendimiento lo que ha impactado en un uso ineficiente de la energía eléctrica consumida.

De la inspección visual de la Bomba 1 para apoyar la evaluación de su estado actual, se deduce que ha estado operando durante mucho tiempo con problemas serios de cavitación* lo que ha provocado, entre otros efectos, un desgaste severo en los sellos por falta de lubricación en los tazones; acentuado este problema debido a que, por error en el diseño, el nivel del agua en el cárcamo, después de que éste se llena para iniciar cada ciclo de bombeo (Fig. 5), está por debajo del nivel establecido por la altura manométrica de la bomba (83 m). Debido a lo anterior se tendría que hacer obra civil para modificar la relación de alturas del canal y el cárcamo, a fin de que la altura manométrica de la Bomba 1 efectivamente quede por debajo del nivel del agua del cárcamo.

Derivado de la inspección visual realizada a las bombas 2 y 3, a pesar de que no se observan tazones por arriba del nivel del agua del cárcamo, también tienen sus rodamientos y chumaceras muy desgastadas por lo que se produce mucha vibración, y se infiere que tienen una problemática similar a la de la Bomba 1.

Se debe rediseñar el sistema de rejillas para evitar su saturación, de tal manera que se puedan alternar para su limpieza y evitar la suspensión del servicio.

5. Consideraciones y estrategias adicionales

Como se indica en la Tabla 2, el suministro está contratado con la arifa 9M que si bien es cierto que corresponde al servicio para bombeo de agua para riego agrícola en media tensión, actualmente no resulta la mejor opción para casos como el del sistema Teltipan, ya que amparados en la Ley de Energía para el campo, aquellas organizaciones con actividad agrícola que cumplan con el reglamento correspondiente a dicha ley[9], podrán ser beneficiarios de la Tarifa 9CU, la cual ofrece costos por kWh de consumo menores a los de la tarifa 9M; las Tablas 5 y 6 permiten comparar los costos establecidos para 2010 en cada una de ellas.

* La bomba trata de expulsar más agua de la que absorbe y se presenta un efecto de vacío en su interior que reduce la presión y genera burbujas de "vapor" que rozan los álabes del impulsor y afecta a otros de sus componentes por la corrosión que se produce.

Tabla 5. Cargo por energía Tarifa 9CU (2010)
Fuente: http://www.cfe.gob.mx/negocio/conocetarifa/Paginas/Tarifas.asp
Fecha de consulta: 11: horas del 10 de febrero de 2010

Cargo por energía ($/kWh)		
Rango	Dic/2009	Ene a Dic/2010
Cuota energética	0.420	0.440

El beneficio que esto representa para el caso de estudio, se realizó el cálculo para el mes de septiembre de 2009 en el que se registró el mayor consumo reportado por la extinta compañía de Luz y Fuerza del Centro. Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 7 y 8.

Tabla 6. Cargo por energía Tarifa 9M (2010)
Fuente: http://www.cfe.gob.mx/negocio/conocetarifa/Paginas/Tarifas.asp
Fecha de consulta: 11:00 horas del 10 de febrero de 2010

Cargo por energía ($/kWh)				
Rango	1-5000	5001-15000	15001-35000	Adicional
Dic./2009	1.545	1.735	1.901	2.073
Ene.	1.576	1.735	1.901	2.073
Feb.	1.608	1.805	1.978	2.156
Mar.	1.640	1.841	2.018	2.199
Abr.	1.673	1.878	2.058	2.243
May.	1.706	1.916	2.099	2.288
Jun.	1.740	1.954	2.141	2.334
Jul.	1.775	1.993	2.184	2.381
Ago.	1.811	2.033	2.228	2.429
Sep.	1.847	2.074	2.273	2.478
Oct.	1.884	2.115	2.318	2.528
Nov.	1.922	2.157	2.364	2.579
Dic.	1.960	2.200	2.411	2.631

Tabla 7. Costo energía con Tarifa 9CU (sep. 2009).

FECHA DE FACTURACION DEL 1 AL 30 DE SEPTIEMBRE.
CALCULO DEL RECIBO DEL BOMBEO BUENA VISTA, TELTIPAN DE JUAREZ HGO
TARIFA 9CU CONS-KWH 20040

			TOTAL DIAS	KWH-SEMAN	KWH-MES	FACTURACION-MES		
MES	DEL	AL						
SEPTIEMBRE	1	5	5	3340		5000	0.42	$ 2,100.00
SEPTIEMBRE	6	12	7	4676	20040	10000	0.42	$ 4,200.00
SEPTIEMBRE	13	19	7	4676		5040	0.42	$ 2,116.80
SEPTIEMBRE	20	26	7	4676				
SEPTIEMBRE	27	30	4	2672				
TOTAL			30			20040		$ 8,416.80

Conclusión

Para optimizar el sistema de riego se deben realizar las siguientes tareas:

- Reconversión tecnológica sustentada en un estudio costo-beneficio derivado de la actualización del proyecto de la red eléctrica que incluya: estudio de cortocircuito; diseño e instalación de la red de tierras; estudio de coordinación de protecciones de sobrecorriente; corrección del factor de potencia; cambio de la tarifa contratada; entre otros aspectos. Adicionalmente, se debe establecer un programa de mantenimiento para el transformador de la subestación (según los registros revisados no ha sido realizado en muchos años).

Tabla 8. Costo energía con Tarifa 9M (sep. 2009).

FECHA DE FACTURACION DEL 1 AL 30 DE SEPTIEMBRE.
CALCULO DEL RECIBO DEL BOMBEO BUENA VISTA, TELTIPAN DE JUAREZ HGO
TARIFA 9M CONS-KWH 20040

MES	DEL	AL	TOTAL DIAS	KWH-SEMAN	KWH-MES	FACTURACION-MES		
SEPTIEMBRE	1	5	5	3340		5000	1.456	$ 7,280.00
SEPTIEMBRE	6	12	7	4676	20040	10000	1.635	$16,350.00
SEPTIEMBRE	13	19	7	4676		5040	1.791	$ 9,026.64
SEPTIEMBRE	20	26	7	4676				
SEPTIEMBRE	27	30	4	2672				
	TOTAL		30			20040		$32,656.64

- Actualización del diseño del sistema hidráulico que contemple: obra civil (canales, sistema de rejillas para retención sólidos en suspensión y cárcamo); bombas de mayor eficiencia; entre otros aspectos.

Por otro lado, ya que dentro del territorio de México existen una gran cantidad de sistemas similares al del caso de estudio, resulta conveniente realizar estudios de sus sistemas hidráulicos y eléctricos a fin de establecer estrategias que permitan su optimización y con ello se beneficie a los propios usuarios de los sistemas, pero al mismo tiempo se coadyuve a:

- Cuidar los recursos energéticos del país.
- Apoyar los programas de prevención de cambio climático emprendidos por el estado mexicano.
- Identificar posibles oportunidades para la implementación de programas de autoabastecimiento de energía eléctrica.

Referencias

[1] Bartone RC, Arlosoroff S, Shuval HI. Implementing water reuse. En: Proceedings Water Reuse Symposium IV AWWA. Denver: Research Foundation, 1988.
[2] State Wide Standards for the Safe Direct Use of Reclaimed Wastewater for Irrigation and Recreational Impoundments. Berkeley, Ca.: California State Department of Public Health, 1968.
[3] Strauss M. Examples of Wastewater and Excreta Use 5. Practices in Agriculture and Aquaculture. IRCWD News 1988; 13:24-25.
[4] NOM-002-ECOL-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. México: SEMARNAT.
[5] NMX-AA-51-81. Determinación de Metales. Método Espectrofotométrico de Absorción Atómica. México.
[6] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (01-01-1985). México: Publicaciones INEGI.
[7] CFE (2005). Especificación CFE L0000-45. Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica. México: CFE. Tabla 3, p. 5.
[8] CFE op. cit. Tabla 2, p. 4.
[9] Nuevo Reglamento DOF 04-12-2003. Reglamento de la Ley de Energía para el Campo. México: Diario Oficial de la Federación, 14 de diciembre de 2003.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 94. Volumen 4(2), 7 páginas.

IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS DE SEGURIDAD EN EL MEDIO INDUSTRIAL

Fernando Toledo Toledo[1], María Berenice Guadalupe Quintana Díaz[2], Vicente Ayala Ahumada[3], José Dolores Juárez Cervantes[4]

Resumen

La seguridad es un área especializada en el medio industrial para la cual se conjuntan los conocimientos técnicos y la experiencia profesional, fundamentalmente del personal de ingeniería. Es necesario proveer en todas las empresas industriales en donde se haga uso de la energía, conocimientos sobre los principales riesgos a que están expuestos los trabajadores debido al uso de equipos fijos y portátiles. En el medio industrial existe un gran número de personas involucradas con la operación y mantenimiento seguro de las instalaciones. Se describen los programas de seguridad basados en fuentes confiables de información sobre los fundamentos del mantenimiento y operación confiable y segura de los sistemas industriales y comerciales, haciendo énfasis en los procesos que utilizan energía eléctrica, presentando las metodologías para la implementación de programas de seguridad destinados a proteger al personal que trabaja en recintos industriales.

Palabras clave: Programas de seguridad, seguridad industrial, seguridad, seguridad eléctrica.

Summary

The security is an area specialized in the average industrialist for who the technical knowledge and the professional experience are combined, fundamentally of the engineering personnel. It is necessary to provide in all the industrial companies in where use becomes of the energy, knowledge on the main risks to that the workers due to the use of stationary equipment and portable are exposed. In the average industrialist a great number of people involved with the operation and safe maintenance of the facilities exists. The programs of security are described based on reliable sources of information on the foundations of the maintenance and reliable and safe operation of the industrial and commercial systems, making emphasis in the processes that use electrical energy, presenting/displaying the methodologies for the implementation of security programs destined to protect the personnel who works in industrial enclosures.

Key words: Electrical Security, Security, Industrial Security, Programs of Security.

Introducción

Las normatividades internacionales referentes a instalaciones industriales hacen énfasis en la protección a todas las personas que puedan estar expuestas a los riesgos operativos y no sólo proteger al personal de proceso.

Se presentan las metodologías para el establecimiento de una guía práctica, pero adecuadamente fundamentada, enfocada a controlar, mitigar y dentro de lo posible, eliminar, los riesgos derivados de la actividad laboral en el medio industrial. Este programa de seguridad es un conjunto de reglas y recomendaciones para el trabajo seguro en el medio de las instalaciones industriales.

La ingeniería de la seguridad (diseño, operación, mantenimiento y uso inadecuado de las instalaciones) representa el pilar de este programa, siendo su principal objetivo mitigar las fuentes de riesgo ya que éstas conllevan inevitablemente al riesgo de muerte.

[1, 2, 3, 4] Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Av. San Pablo 180, Azcapotzalco, 02200, D.F., Tel. 5318-9049, fax 5318-9055. Correos: ftoledo2@correo.azc.uam.mx , [2] mbqd@correo.azc.uam.mx, [3] ava@correo.azc.uam.mx, [4] jjc@correo.azc.uam.mx

I. Seguridad industrial

Un gran número de incidentes y muertes en el medio industrial se deben al poco cuidado y capacitación sobre los equipos utilizados.

Es necesario que el programa de seguridad contemple acciones específicas sobre el entrenamiento al personal que puede estar expuesto, por cercanía o contacto, a fuentes potenciales de riesgo. Es muy importante que el programa involucre la detección de estas fuentes.

El entrenamiento derivado del programa de seguridad se enfoca al conocimiento y aplicación de las reglas existentes, así como también sobre los procedimientos y adecuaciones al área de trabajo específica.

El establecimiento de estas tareas de capacitación también debe enfocarse a personas "no calificadas". El personal, particularmente en el medio industrial, área a la que se enfoca esta plática, necesita conocer las razones por las cuales deben cumplir con los procedimientos estipulados en el programa de seguridad. Estos aplicados correctamente, mejorarán su competencia y seguridad laboral.

II. Seguridad eléctrica

La seguridad eléctrica parte de un diseño de sistema seguro basado en el cumplimiento de las normativas vigentes de cada país. Estas normativas tienen muchos aspectos en común, normalmente derivadas de normas *National Fire Protection Association* (*NFPA*).

El desarrollo de un programa de seguridad eléctrica parte de la definición de prácticas seguras, siendo una de sus metas más importantes. Un gran número de incidentes y muertes en el medio industrial se deben al poco cuidado y capacitación sobre los equipos utilizados.

Es extremadamente importante la aplicación de prácticas y procedimientos seguros en el medio industrial. Se presentan algunos índices sobre accidentes por electricidad (datos de USA):

1) Alrededor de 30,000 accidentes no fatales por choque eléctrico ocurren cada año.
2) Más de 600 personas mueren por electrocución al año.
3) La electrocución permanece como la cuarta causa más importante de decesos en la industria.
4) Se reportan aproximadamente 3000 incidentes por arco con alrededor de 350 muertes al año.

La *Administración de Seguridad y Salud Ocupacional OSHA, USA)* representa el organismo más importante a nivel internacional sobre la normatividad asociada al ambiente de trabajo. Establece las obligaciones y derechos que tienen, tanto los trabajadores como los patrones sobre materia de seguridad, la Fig. 1 presenta el Estatuto 3147 de la OSHA.

Estas normatividades orientan los programas de seguridad y culminan con la selección y clasificación tanto de los elementos de protección personal, como de los equipos de seguridad eléctrica.

Adicionalmente debe considerarse el riesgo de contacto eléctrico (choque), el riesgo de arco eléctrico (arc flash–arc blast) que es el menos conocido y menos tratado en las medidas de seguridad.

Fig. 1. Estatuto 3147 OSHA.

III. Elementos básicos de un plan de seguridad

- Auditorías de Seguridad Eléctrica.
- Formulación la base de los programas de seguridad eléctrica en ambiente industrial.
- Definición de procedimientos para el establecimiento de programas de seguridad eléctrica.
- Actividades para mejorar la seguridad en el medio laboral industrial.
- Planes de revisión y listas de inspección para la identificación de las deficiencias en diseño y operación de los sistemas eléctricos industriales.
- Condiciones de seguridad, sistemas de protección y dispositivos para prevenir y proteger a los trabajadores contra los riesgos de trabajo que genera el uso de la maquinaria en el medio industrial.
- Metodologías para la aplicación de políticas y procedimientos en los aspectos eléctricos sobre la prevención de incendios y explosiones.
- Guías para la implementación de programas de seguridad eléctrica en el medio industrial.

La NFPA 70E, fue originalmente desarrollada para cumplir con las disposiciones y necesidades de OSHA para abordar los peligros eléctricos a los que se exponen los trabajadores en los lugares de trabajo.

En la actualidad, es el estándar más utilizado en la industria para la implementación de programas exitosos de seguridad eléctrica en los centros de trabajo. La norma NFPA 70E, establece los requerimientos de seguridad eléctrica para los trabajadores en sus lugares de trabajo, entregando pautas para los trabajos en o cerca de equipos o partes energizadas.

En México, el Reglamento Federal de Seguridad, las normas NOM-029-STPS-2005 y NOM-017-STPS-2001 exigen a los patrones efectuar análisis de riesgos, capacitar al personal y proporcionar los equipos de protección personal para los riesgos relacionados con la actividad laboral. Dentro de los principales aspectos considerados en la primera norma, se contempla:

Obligaciones del patrón

- Analizar, antes de efectuar el mantenimiento de las instalaciones eléctricas, los riesgos de trabajo a los que se exponen los trabajadores.
- Informar a los trabajadores sobre los riesgos que la energía eléctrica representa y de las condiciones de seguridad que deben prevalecer en el área de trabajo o en la actividad a desarrollar.
- Contar con los procedimientos de seguridad para las actividades de mantenimiento a las instalaciones eléctricas.
- Autorizar por escrito a los trabajadores que realicen actividades de mantenimiento a las instalaciones eléctricas en lugares peligrosos (alturas, espacios confinados, subestaciones u otros). La autorización debe contener cuando menos el nombre del trabajador, nombre y firma del patrón o de la persona que designe para otorgar la autorización, tipo de trabajo, el área, fecha y hora de inicio del trabajo y tiempo estimado de terminación.
- Proporcionar capacitación y adiestramiento a los trabajadores que realicen mantenimiento a las instalaciones eléctricas en el centro de trabajo, con base a los procedimientos que se elaboren.
- La capacitación debe incluir los temas sobre el uso, mantenimiento, inspección y almacenamiento del equipo de protección personal, herramientas, equipo y materiales aislantes.
- Contar con elementos que permitan brindar atención médica a un posible accidentado por contacto con la energía eléctrica. Debe proporcionar capacitación y adiestramiento al personal para brindar primeros auxilios.
- Proporcionar a los trabajadores que realizan actividades de mantenimiento de instalaciones eléctricas, el equipo de protección requerido de conformidad a la NOM-017-STPS-2001, relativo al análisis de riesgos para determinar el equipo de protección personal.

Obligaciones de los trabajadores

- Cumplir con las medidas de seguridad establecidas por el patrón.
- Participar en las actividades de capacitación y adiestramiento en materia de seguridad establecidas por el patrón.
- Cumplir con las instrucciones de uso y mantenimiento del equipo de protección personal, así como del equipo y materiales de protección aislante, proporcionados por el patrón.
- Utilizar y tener cuidado que el equipo y materiales de protección aislante se mantengan en condiciones de funcionamiento para efectuar las actividades de mantenimiento de las instalaciones eléctricas.

- Seguir los procedimientos de seguridad establecidos, mientras realiza las actividades de mantenimiento de instalaciones eléctricas.
- Participar en las prácticas de primeros auxilios y rescate de trabajadores accidentados en las instalaciones eléctricas.
- Informar al patrón de cualquier situación que implique un riesgo al desarrollar su actividad y que no puede subsanar por sí mismo.

IV. El programa de seguridad eléctrica

Objetivo General

Garantizar la seguridad de todo el personal y salvaguarda de bienes que hagan uso de la energía eléctrica.

Objetivos Específicos

- Analizar la condición de seguridad existente mediante auditoría de seguridad.
- Formular la base de los programas de seguridad eléctrica en ambiente industrial.
- Definir los procedimientos para el establecimiento de programas de seguridad eléctrica.
- Definir las actividades para mejorar la seguridad en el medio laboral industrial.
- Exponer planes de revisión y listas de inspección para la identificación de las deficiencias en diseño y operación de los sistemas eléctricos industriales.
- Establecer las condiciones de seguridad y los sistemas de protección y dispositivos para prevenir y proteger a los trabajadores contra los riesgos de trabajo que genera el uso de la maquinaria en el medio industrial.
- Desarrollar metodologías para la aplicación de políticas y procedimientos en los aspectos eléctricos sobre la prevención de incendios y explosiones.

V. Auditorías de seguridad

Para asegurar el cumplimiento de los programas de seguridad eléctrica, la legislación vigente y el correcto diseño de las instalaciones, es necesaria de la incorporación de auditorías de evaluación inicial o de diagnóstico a todas las instalaciones y sistemas de seguridad del sistema bajo estudio.

Estas auditorías son una práctica habitual en las empresas o instituciones con el fin de identificar y analizar los diversos aspectos de la situación y bondad de sus programas y si es preciso, dar fe de ello. Estas auditorías pueden realizarse para saber las condiciones en que se encuentran equipos, instalaciones o para evaluar el avance de un programa o al inicio de estos, para evaluar la situación en que se encuentra la empresa al momento de comenzar dicho programa para ser utilizado como herramienta de medición del mejoramiento continuo. En la realización de la auditoria se consideran los siguientes aspectos:

- Documentación
- Subestaciones, casetas de control, generadores, aparatos de conexión (interruptores), CCMs
- Instalaciones generales
- Motores y otros equipos (motores, cables y ductos, mantenimiento, operación según diseño, limpieza)
- Estaciones de baterías
- Procedimientos de seguridad
- Equipo de seguridad
- Dispositivos de advertencia
- Registros de mantenimiento
- Capacitación personal electricista
- Requerimientos a terceros en trabajos eléctricos

Para efectos de recomendaciones se consideran, entre otros, el código **NFPA 70** (NEC versión 2008) y la norma **NFPA 70E** (versión 2009).

El NEC presenta el conjunto de requisitos eléctricos de seguridad y diseño de más amplia adopción en el mundo, se ofrece para uso legal y con propósitos reglamentarios en áreas del diseño de las instalaciones, la protección de la vida de las personas y de las instalaciones.

VI. La gestión de la seguridad eléctrica

El análisis del estado de la gestión en la seguridad eléctrica, debe considerar los siguientes aspectos:

- Políticas de seguridad eléctrica de la Compañía
- Objetivos de seguridad de la compañía donde se consideren los peligros eléctricos

- Identificación de áreas y/o personas expuestas a los riesgos eléctricos
- Planes y programas de las áreas expuestas a los riesgos eléctricos aprobados por la Gerencia de Seguridad
- Programas de capacitación y/o calificación respecto a los riesgos eléctricos
- Procedimientos de selección y adquisición de elementos y equipos de protección para la seguridad eléctrica
- Procedimientos de trabajo críticos

VII. Implementando el programa de seguridad eléctrica

La implementación del *programa de seguridad eléctrica* en una industria, debe contener, como mínimo, las siguientes seis fases:

1. *Lineamientos de seguridad eléctrica*
2. *Procedimientos para la ingeniería de la seguridad eléctrica*
3. *Procedimientos para la capacitación, calificación y autorización del personal*
4. *Elaboración y aprobación de procedimientos críticos para el programa de seguridad eléctrica*
5. *Procedimientos para la selección, adquisición, entrega y reposición de los elementos y/o equipos de seguridad eléctrica*
6. *Procedimientos de auditoría al programa de seguridad eléctrica*

A. LINEAMIENTO DE SEGURIDAD ELÉCTRICA:

a) Definición:

Permitirá que toda la organización conozca los pilares bajo los cuales está sustentado el programa de seguridad eléctrica sin necesariamente entrar en grandes detalles ya que estos, estarán en los procedimientos específicos del programa los cuales, no necesariamente deberán ser conocidos por toda la organización. Sí deben ser conocidos por quienes deben llevarlas a cabo.

Estos procedimientos son:
Ingeniería de la Seguridad Eléctrica, Calificación del Personal, Procedimientos de Seguridad, Elementos de Protección y Auditoria al Programa de Seguridad Eléctrica.

b) Contenidos Mínimos del Lineamiento:

Objetivos
Alcance
Difusión
Aplicación
Legislación aplicable
Responsabilidades y deberes
Normas generales de trabajos con electricidad
De los peligros eléctricos
De los planes de prevención de los accidentes eléctricos.
De los programas de seguridad eléctrica

B. PROCEDIMIENTO PARA LA INGENIERÍA DE LA SEGURIDAD ELÉCTRICA:

a) Definición:

Los accidentes provocados por los riesgos eléctricos tienen como origen fallas en las instalaciones o actuaciones incorrectas de las personas.

La forma de evitarlos será actuando sobre el origen de los mismos, es decir logrando que las instalaciones estén en las adecuadas condiciones de seguridad y que las personas actúen de forma segura con relación a los riesgos. Por lo tanto, el procedimiento define las acciones, plazo y responsabilidad tendientes a eliminar, mitigar y/o controlar los riesgos eléctricos desde su fuente de origen.

b) Contenidos Mínimos:

Objetivos
Alcance
Responsabilidades
Análisis de los sistemas eléctricos de potencia
Coordinación de protecciones
Estudios de cortocircuito

Estudio de arco eléctrico
Periodicidad
Otros
Sistemas de tierra y de blindaje contra descargas atmosféricas
Mallas
Tierra de equipos
Revisiones y mediciones
Periodicidad
De los cambios a los sistemas eléctricos
Manejo de la información
Comunicación y difusión de los cambios
De los equipos críticos

C. PROCEDIMIENTO PARA LA CAPACITACION, CALIFICACIÓN Y AUTORIZACIÓN DEL PERSONAL:

a) Definición:

Por medio de la capacitación, se busca mejorar conocimientos, habilidades, actitudes y conductas a las personas en sus puestos de trabajo. Este procedimiento de capacitación y/o calificación debe incluir un proceso sistemático y planificado que considere las acciones necesarias para realizar la capacitación y/o calificación en seguridad eléctrica partiendo desde el proceso de contratación del personal.

D. ELABORACIÓN Y APROBACIÓN DE PROCEDIMIENTOS CRÍTICOS PARA EL PROGRAMA DE SEGURIDAD ELÉCTRICA:

a) Definición:

Entre los contenidos mínimos que ha de tener un programa de seguridad eléctrica, destacan los procedimientos y los procesos necesarios para realizar la acción de prevención de riesgos en la empresa. A nadie le sorprenderá oír hablar de "Procedimiento o Instrucciones de Trabajo" como herramienta que garantice un mínimo rigor a la hora de llevar a cabo los trabajos que entrañan complejidad y peligrosidad. Sin embargo, es difícil entender por qué aún no se han desarrollado criterios legales para la elaboración de los mismos, siendo necesario una vez más recurrir a la búsqueda de normas internacionales.

Este procedimiento busca normar los criterios para la elaboración de procedimientos críticos para la seguridad eléctrica de la compañía.

E. PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN, ADQUISICIÓN, ENTREGA Y REPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS Y/O EQUIPOS DE SEGURIDAD ELÉCTRICA:

a) Definición:

La NFPA 70E considera los equipos de protección personal como la última barrera para la protección del trabajador. Por lo tanto, las prácticas de trabajo seguro consideran estos elementos y/o equipo de protección cuando se trabaja en o cerca de partes energizadas.

Este procedimiento debe normar las exigencias para la clasificación, selección, adquisición, entrega y reposición de los elementos y/o equipos de seguridad eléctrica.

F. PROCEDIMIENTO DE AUDITORIA AL PROGRAMA DE SEGURIDAD ELÉCTRICA:

a) Definición:

Para asegurar el cumplimiento de los programas de seguridad eléctrica y el desarrollo del mejoramiento continuo es necesario de la incorporación de auditorías al programa de maneja de evaluar en forma objetiva y documentada el cumplimiento del programa, identificar y evaluar todas sus desviaciones y diseñar estrategias para el mejoramiento de estas últimas.

Este procedimiento busca establecer las definiciones, fundamentos y responsabilidades del Procedimiento de Auditorias Eléctricas, como parte del Programa de Seguridad Eléctrica.

Conclusiones y recomendaciones

La naturaleza de la gestión de un Programa de Seguridad Eléctrica exige un proceso de *implementación, aprendizaje, maduración y consolidación* que atraviesa toda la organización y requiere del tiempo necesario para alcanzar su consolidación. Existen cinco etapas básicas (Fig. 2):

1. Evaluación, diagnóstico y creación de conciencia
2. Desarrollo de los instrumentos necesarios para la implementación del programa
3. Implementación del programa
4. Consolidación del programa
5. Mejoramiento continuo

Referencias

1. NFPA 70E Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo. Edición 2004.
2. OSHA 3075. Controlling Electrical Hazards. Occupational Safety & Health Administration, 2002.
3. NORMA Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo.
4. NORMA Oficial Mexicana NOM-019-STPS-2011, Constitución, integración, organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene.
5. NORMA Oficial Mexicana NOM-029-STPS-2005, Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad..

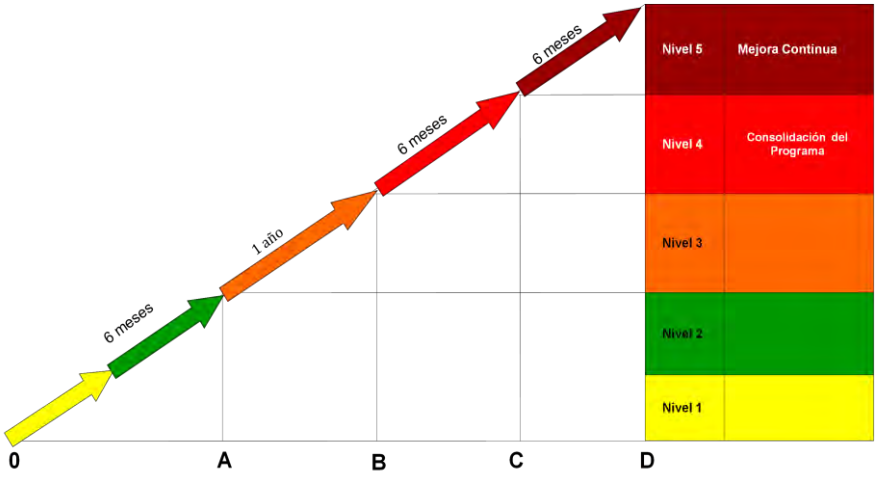


Fig. 2. Etapas básicas de un programa de seguridad eléctrica.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 97. Volumen 4(1), 8 páginas.

MAINTENANCE AND RELIABILITY OF ENGINE ELECTRICAL EQUIPMENT

Mieczyslaw Dziubinski[1],

Summary

The aim of studies was to gather data about the ignition system reliability. Tests were carried out at Auto-Volt, the Bosch Service in Lublin. On the grounds of data bases obtained from service stations, a passive statistical experiment was carried out. 100 cars of four makes were chosen for tests. In the course of research, statistical distributions of the ignition system and statistical distributions of failures, calculated on the grounds of data result sheets from the mentioned above service station, were determined. With the aid of the computer program "Statistica" and with the use of λ-Kołmogorow test of goodness of fit, reliability models of the ignition system were made. In the process of maintenance, alternator reliability can be influenced by complying with technical specifications and rising the level of maintenance process organization. On the grounds of the analysis of alternator magnetic circuit, a calculation program making it possible to assess the effect of magnetic materials properties on alternator current-speed characteristic has been worked out. On the grounds of engine operating conditions, the determined value of the coefficient (sucked air mass to fuel mass ratio) is chosen. Then, the controller determines sucked air mass on the basis of measurement sensors indications. The correction of injection time according to power voltage is carried out. The procedures of control in injection systems are stored in microprocessor memory as three-dimensional characteristics. The aim of tests is to verify the functionality of the stand for testing Honda PGM-FI DPI injection system for chosen failures.

Key words: alternator, ignition, injection, reliability.

Introduction

Modern vehicles have variable purposes and operating conditions. Ensuring proper reliability of vehicles and their components in every situation is becoming necessary. Reliability tests of electrical elements make it possible to determine their indexes [2][4][6]. They also lead to ordering and systematizing the following problems: failure classification, determining limiting states of components wear-out or load. They identify input function factors found during operation and determine the level of their destructive effect on the electrical element. The information bank is significant in improving elements, the technology of their manufacturing as well as their maintenance manner and actual possibilities of their use. The information bank is obtained as a result of carrying out a statistical experiment. If properly worked out, it can be the basis for making proper decisions leading to ensuring the required level of reliability in vehicles under examination.

The dynamic development of electronics contributed to the increase in the number of car elements and circuits which are powered by the alternator.

For that purpose, alternator power is being increased and new constructional solutions are being introduced. Thus, a need for constant reliability tests arises. Alternator tests make it possible to determine reliability, which is necessary as a comparative criterion against new constructional solutions. The tests lead to organizing the following problems: failure classification, determining wear-out limiting states during maintenance and actual possibilities of making use of reliability analysis. On the grounds of failure simulation carried out in the phase of production processing and carried out statistical experiment, the information bank which is properly worked out, can be the basis for making decisions leading to ensuring the required reliability level of the alternator.

[1] Lublin University of Technology. +48 81 5384248. E-mail: m.dziubinski@pollub.pl

Making use of the obtained information proves that 3 stages can be distinguished in the "life" of the alternator [1][3][5]. Making use of reliability tests results is significant in all the phases, particularly while:

- designing the alternator construction and designing the manufacturing process.
- manufacturing the alternator,
- maintaining alternator.

Failures of ignition and injection systems in vehicles is a very important notion in the theory of reliability. Each reliability test, both reliability analysis and reliability synthesis, should have strictly defined notions of failure, conforming with the specification of the tested ignition system.

Statistically estimated failure rates of ignition and injection systems are equal to the number of failures which occurred in time unit against the number of ignition and injection systems with no failures. Empirical failure rate has the shape of a step curve, approximated to a full line, which is divided into three intervals:

a) The first interval, where system failure rate is a decreasing function, is the initial period of maintenance in which elements of lower reliability are eliminated,
b) The second interval, in which $\lambda_N(t)$ = const, is the so called period of normal maintenance,
c) The third interval, where failure rate is an increasing function, in which wear-out and ageing failures begin to dominate.

ComputerTests of the Reliability of the Alternator, Ignition and Injection Systems

The alternator calculating program enables to obtain the flow characteristic on the grounds of rotor and stator geometrical dimensions. Magnetic materials magnetization characteristics strongly influence alternator characteristics. The carried out simulation proved that the change of rotor magnetic material brings a stronger influence on alternator characteristics than the change of stator magnetic material. It results, among other things, from the difference in magnetic circuit sections (Fig.1 and Fig.2).

The number of failures of alternator particular elements was determined in the course of studies, Fig. 3. Data for the reliability model determine car mileage up to the moment of failure occurrence. With the aid of the computer program. `Statistica` and with the use of λ-Kołmogorow test of goodness of fit, alternator reliability models have been worked out, Fig. 4 and Fig. 5.

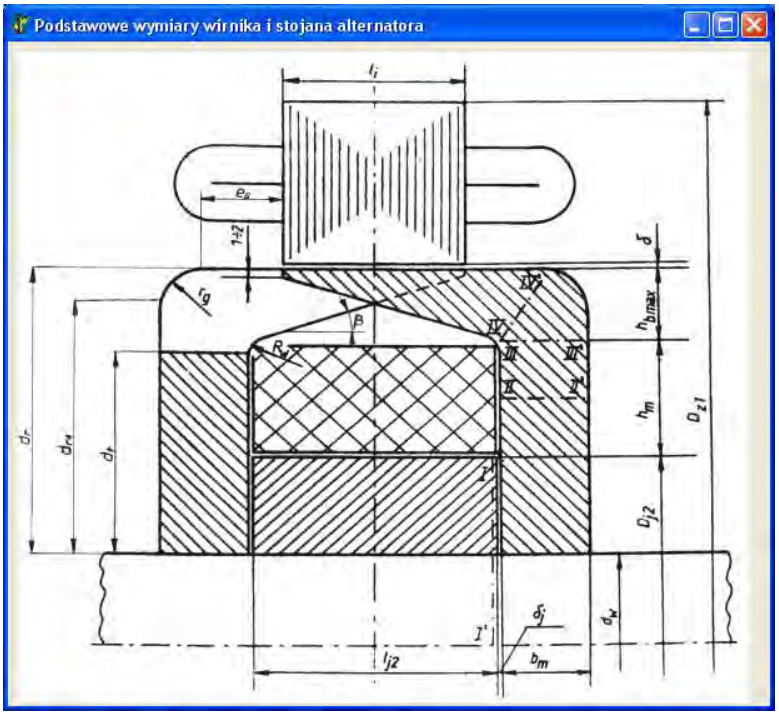


Fig. 1. Alternator rotor with basic dimensions.

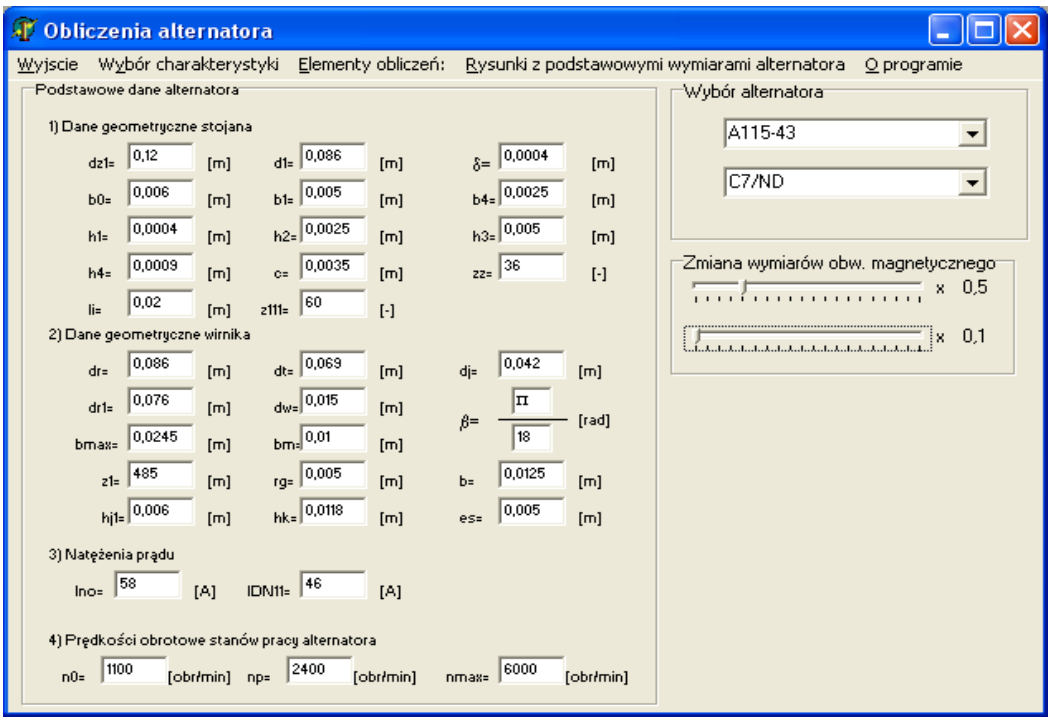


Fig. 2. Program elements used for simulating the effect of changes in magnetic circuit dimensions on the course of characteristics.

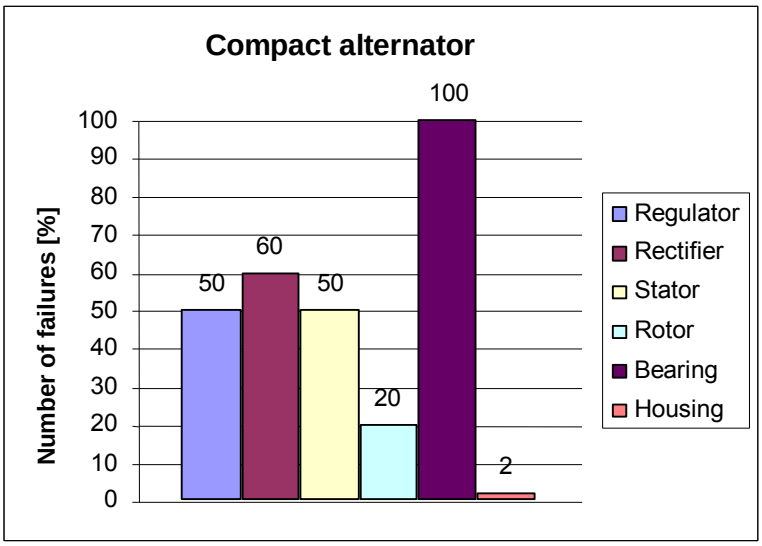


Fig. 3. Compact alternator failures.

Tests of the ignition system without failures and the ignition system with some elements (e.g. spark plug, ignition coil, high tension wire) disassembled for the purpose of simulating typical mechanical and electrical failures were carried out. The process of technical state assessment consist of three basic tasks:

1. Measuring diagnostic parameter value and comparing it with nominal value.
2. Analysis of deviation character and causes.
3. Stating probable value of ignition system efficient running measure.

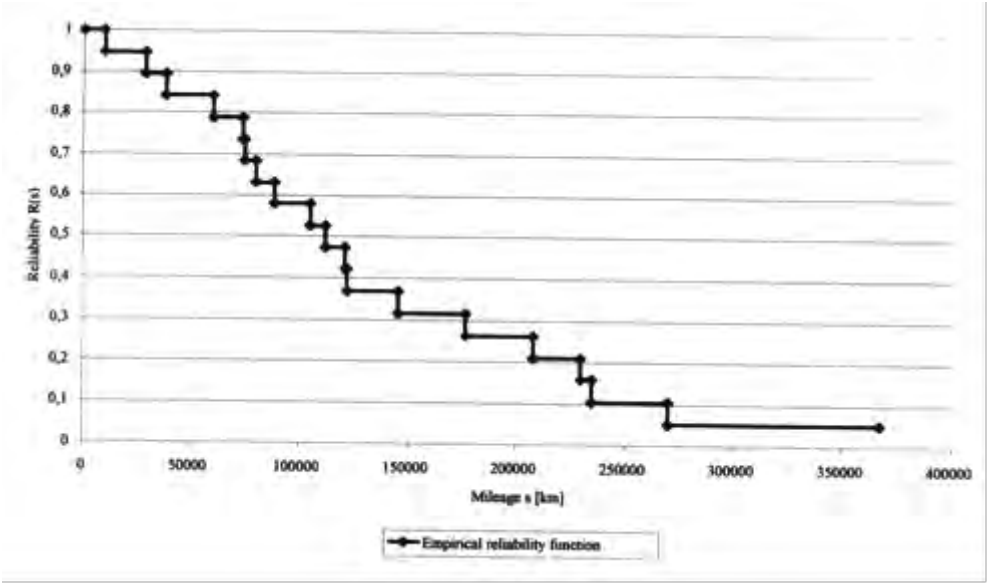


Fig. 4. Alternator empirical reliability function.

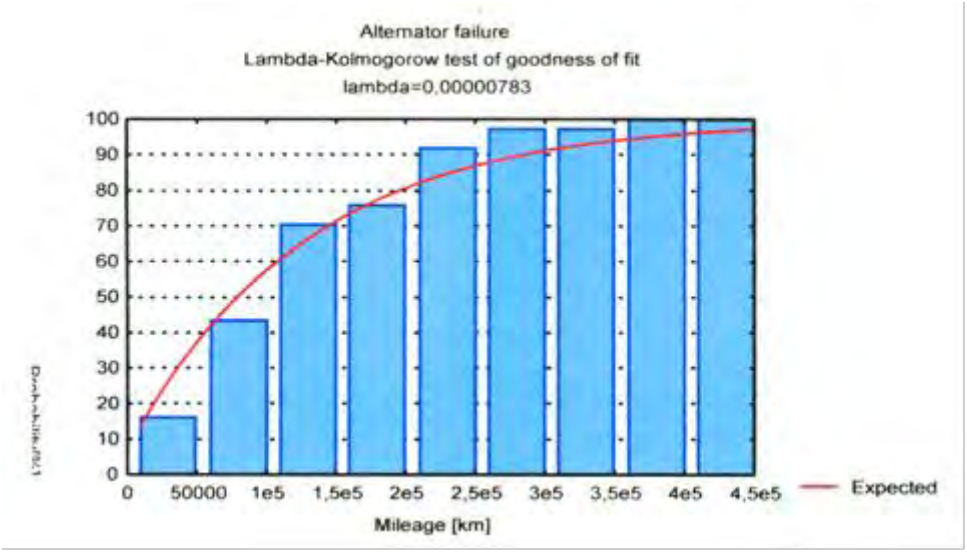


Fig. 5. Alternator reliability model.

Signals sent from sensors to the controller and signals sent from the controller to executory elements were registered by means of KTS diagnostic device (Fig. 6.). The program of tests of Honda PGM-FI DPI injection system:

1. Testing the change of fuel injection time depending on variable operating conditions of the injection system.
2. Testing the change of fuel injection time for the system in which the alternator failure is simulated.
3. The simulation of injection system sensors failures and their influence on the change of fuel injection time.
4. Testing the efficiency of injectors depending on variable operating conditions of the system.

In Honda PGM-FI injection system, a method of determining mixture composition on the basis of absolute pressure (load) and engine speed was used. On the grounds of those values, the electronic control module determines the basic injection time (Fig. 7).

Simulation tests of fuel injection time change depending on variable injection system operating conditions.

Tests of fuel injection time change depending on negative pressure values in the suction manifold. The test $t_w = f(p_d)$ was carried out for the following established conditions:

- cooling agent temperature: T_s =60°C,
- temperature of air in the inlet system: T_p =20°C,
- voltage of λ probe signal: λ=500mV, (λ=1),
- power supply voltage : U_A=14V.

The tests were carried out for values of negative pressure in the suction manifold ranging from 600 mmHg to 0 mmHg, with a jump every 100 mmHg.

The measurement was carried out for constant engine speed n = 800 rpm (+/- 50 rpm) – the throttling valve is completely closed – α_p = 0%. The measurement was repeated for engine speeds n = 1400, 2000, 2600, 3800, 4400, 5000, 5600, 6200, 6800 rpm and corresponding throttling valve openings α_p =10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 %. Test results have been graphically presented in Fig. 8 and Fig. 9.

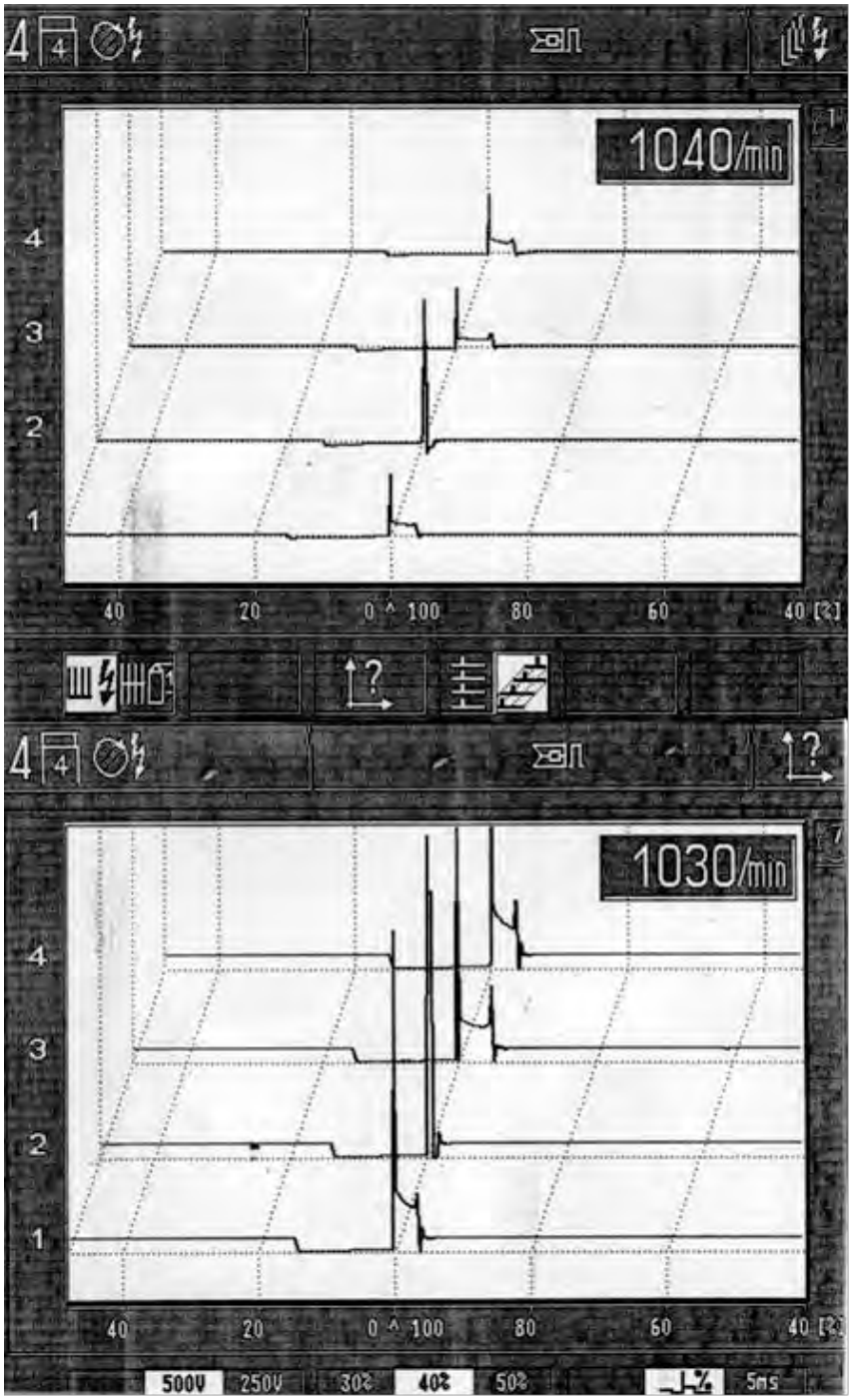


Fig. 6. Example of measured high-tension voltage.

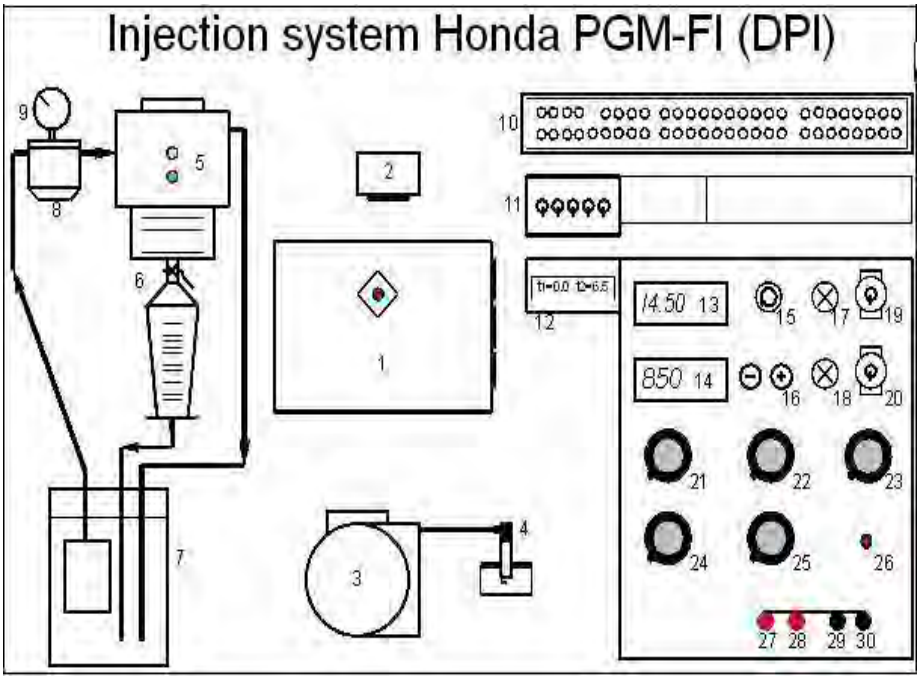


Fig. 7. Diagram presenting the stand for testing PGM-FI (DPI) injection system.
1. Electronic control module (ECM). 2. Main relay. 3. Timer-distributor. 4. Sparking plug.
5. Body of throttling valve and injectors. 6. Measuring cylinder. 7. Fuel tank with fuel pump.
8. Fuel filter. 9. Manometer. 10. Edge card connector. 11. Switch-keys of failure simulations.
12. Digital voltmeter. 13. Digital rev-counter. 14. Potentiometer of voltage adjustment.
15. Push-buttons of rotational speed controller. 16. Control lamp of switching on voltage in the system.
17. Control lamp of switching on the adjustment of time-distributor rotational speed.
18. Switch-key of supplying voltage.19. Switch-key of time-distributor rotational speed adjustment.
20. Simulation of engine temperature (ECT sensor). 21. Simulation of inlet air temperature (IAT sensor).
22. Simulation of throttling valve opening (TP sensor).
23. Simulation of pressure in suction manifold (MAP sensor).
24. Simulation of oxygen sensor. 25. Push-button of erasing errors. 26, 27. Test stand clamps.
28, 29. Power supply clamp. 30. Display of the system measuring fuel injection time.

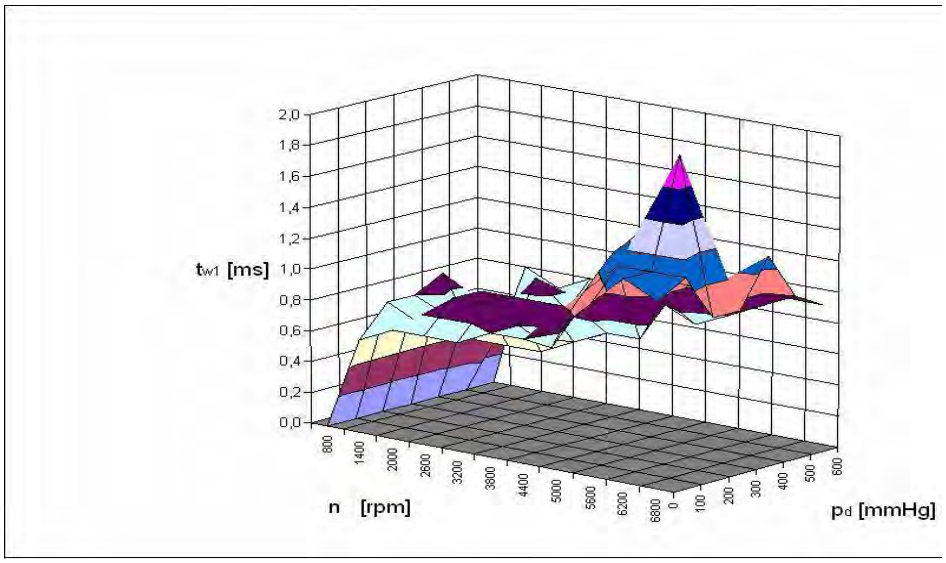


Fig. 8. Change of fuel injection time $t_{w1} = f(p_d)$ for the main injector.

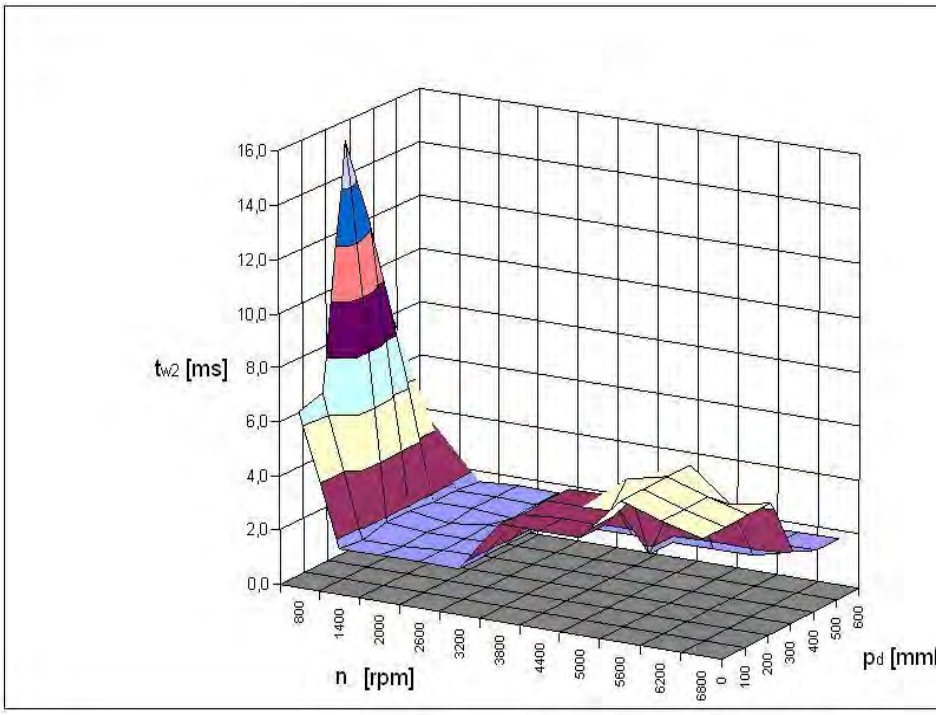


Fig. 9. Change of fuel injection time $t_{w2} = f(p_d)$ for the supportive injector.

Conclusion

The program worked out for simulating the effect of alternator chosen geometrical parameters resulting from the technological process makes it possible to predict alternator current-speed characteristics in the phase of production. The increase in the size of air-gaps in the magnetic circuit causes the increase in magnetic voltage drops and as a result alternator power drop. Gathered information about alternator reliability, its parameters and the use of proper materials make it possible to formulate requirements concerning the construction and assembly technological process. Recognizing and identifying the causes of alternator elements failures makes it possible to replace it with another one, and also to state new operating conditions. Effective impact on reliability can be realized on the grounds of detailed analysis and synthesis of alternator design, manufacture and maintenance.

The analysis of ignition system reliability provides a wide range of development possibilities in computer modelling of recovery processes and reliability diagnostics.

Stating that ignition system technical state is dependent upon structure parameters values and is determined by them is crucial for explaining the essence of diagnostics. However, it is not sufficient in practice because generally it is impossible to measure object structure parameters without its disassembly. It must be added that output parameters course is dependent upon ignition system technical state.

In real conditions, such a situation takes place when you want to drive up the hill without stepping on the gas. The engine speed decreases then, and the control system enriches the mixture in order to counteract the decrease.

As injectors operating conditions are known and it is known that the system compensates fuel injection time in case of the decrease of pressure in the suction manifold, it can be stated that the simulation of negative pressure sensor in the suction manifold has been carried out correctly.

References

1. Dziubiński M. "Maintenance and reliability electrical equipment of engine". Trieste , 2006.
2. Dziubiński M., Czarnigowski J., Nieoczym A. "Simulation Test of Injection System Reliability". International Journal of Material &Structural Reliability, Volume 4 No. 1. Thailand, 2006.
3. Dziubiński M. "Reliability of Combustion Engine Electric Equipment". Transport and Telecommunication, Volume 7.No. 2. , Riga, 2006.
4. Dziubiński M. "Passive statistical experiment of reliability". The International Symposium on Stochastic Models in Reliability, Safety, Security and Logistics. Sami Shamoon College of Engineering Beer Sheve, 2005.

5. Dziubiński M. "Reliability of Combustion Engine Electric Equipment". The 5th International Conference Reliability and Statistics in Transportation and Communication. Riga, Latvia, 2005.
6. Dziubiński M., Szymonik W. "Reliability, Logistics and Quality Management in Production Systems". The 5th International Conference Reliability and Statistics in Transportation and Communication. Riga, Latvia, 2005.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 17. Volumen 4(3), 6 páginas.

DESEMPEÑO DEL PROTOCOLO AODV-CDMA PARA REDES AD-HOC

Aldo L. Méndez-Pérez[1], Roberto Castillo-Fernández[1], Marco A. Panduro-Mendoza[1], Manuel Murguía-Macario[2], Hernando Chagolla-Gaona[3]

Resumen

Las redes ad-hoc inalámbricas son sistemas autónomos donde los nodos forman la red en ausencia de un apoyo centralizado. En la red ad-hoc cada nodo participa en el enrutamiento de los datos de un nodo a otro, y por consiguiente la determinación de cuáles nodos envían los datos se hace de forma dinámica basada en la conectividad de la red. Por otra parte, la popularidad de las redes ad-hoc se basa en gran medida en el control de acceso al medio. Sin embargo, los retos que enfrenta esta tecnología en el acceso al medio son la interferencia y las colisiones provocadas por los nodos dentro de la misma zona de cobertura. Por lo tanto, en este trabajo se presenta la interacción entre capas del protocolo de enrutamiento AODV y el control de acceso al medio basado en CDMA para redes ad-hoc. Este protocolo AODV-CDMA es evaluado a través de un proceso de simulación para diferentes tasas de transmisión.
Palabras clave: AODV, control de acceso al medio, CDMA, enrutamiento.

Summary

Wireless ad-hoc networks are autonomous systems of nodes forming network in the absence of any centralized support. In the ad-hoc network each node participates in routing by forwarding data for other nodes, and so the determination of which nodes forward data is made dynamically based on the network connectivity. In addition to, the popularity of wireless ad-hoc networks is based on the access control of the wireless medium. The greatest challenges this technology faces, however, are interference and collisions caused by users sharing the same coverage area. Therefore, in this paper we present a cross-layer AODV protocol in CDMA-based ad-hoc networks. Finally, the performance of AODV-CDMA is evaluated through simulation with different transmission rates.
Keywords: AODV, CDMA, Medium Access Control, Routing.

Introducción

Las redes son conjuntos de dispositivos – a los cuales llamaremos "nodos" – interconectados entre sí, donde estos pueden compartir información y/o recursos con los demás. Gracias a los avances tecnológicos, las conexiones de los nodos pueden hacerse de manera alámbrica como inalámbrica. Las redes inalámbricas son más convenientes que las alámbricas cuando los dispositivos estarán en movimiento constante, como es el caso de la telefonía celular, pero a su vez son más costosas. Sin embargo, es de vital importancia que la información transmitida llegue a su destino. Existen dos variantes principales en redes inalámbricas [1]: infraestructura y ad-hoc (equipo a equipo). En una red inalámbrica de tipo infraestructura, un nodo se comunica con otro nodo utilizando un dispositivo central (por ejemplo, un punto de acceso), que es el que se encarga de administrar y dirigir las trayectorias del envío de la información; en ocasiones, esto no es conveniente, ya que para hacer funcionar la red de esta manera, es necesario invertir en un dispositivo central, pero en ocasiones la instalación de dicho dispositivo no es factible, ya sea por un movimiento constante de la ubicación de la red, o por distintos factores geográficos y/o sociales, como accidentes geográficos que imposibilitan la instalación del punto de acceso o por situaciones como guerras. Es en estos casos en las que se opta por las redes ad-hoc inalámbricas.

[1] Universidad Autónoma de Tamaulipas. Carretera Reynosa-San Fernando SN, Reynosa-Tamaulipas, 88779, México, Tel.:(+52)8999213300. E-mail: almendez@uat.edu.mx
[2] UANL-FIME. Av. Nicolás de los Garza SN, Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza-NL, 66451, México.
[3] Instituto Tecnológico de Querétaro-DEPI. Av. Tecnológico SN esquina Mariano Escobedo, Querétaro-Querétaro, México.

Una red Ad-hoc es caracterizada por el hecho de que cada nodo puede compartir datos con otro sin la necesidad de un dispositivo central que marque una trayectoria para el envío de la información. Es decir, una red ad-hoc inalámbrica es un conjunto de dispositivos conectados inalámbricamente entre sí que no utilizan un dispositivo central para que la información llegue del origen a su destino [2]. Las redes Ad-hoc muestran un gran número de aplicaciones, tanto civiles, comerciales como militares.

Para que la información llegue a su destino, el dispositivo de origen transmite la información a uno o varios nodos, y estos a su vez la retransmitirán sucesivamente, hasta encontrar el nodo destino – este tipo de transmisión es denominada Multi-Salto [3]. Si los nodos están en constante movilidad, entonces las rutas para el envío de la información cambiarán en este mismo ritmo, y es aquí cuando los nodos utilizarán un algoritmo de enrutamiento [4] para poder encontrar la ruta óptima para llegar al destino. Estos algoritmos de enrutamiento pueden ser proactivos (todos los nodos están buscando la ruta óptima constantemente, sin importar si hay tráfico de datos o no, y al encontrar un cambio, se avisa a los demás de haber un cambio), reactivos (se busca la ruta óptima sólo cuando se necesitan, pero puede ocasionar retrasos para encontrar una ruta) e híbridos (combinando características de proactivos y reactivos).

A diferencia de una red celular, donde la estación base hace la comunicación de un emisor a un receptor, en una red inalámbrica no se tiene este dispositivo inteligente. En sí, una red celular es una red centralizada. En cambio, para una red inalámbrica, debido a que no hay una estación base, son los propios dispositivos móviles los que realizan la función de transferir la información. Por lo tanto, es necesario analizar algoritmos que nos permitan enrutar la información de un emisor a un receptor. Para esto se analiza el protocolo de enrutamiento AODV (*"*Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing*"*, o "Enrutamiento Ad-hoc a demanda de Distanciamiento Vectorial") [5], [6].

El protocolo de enrutamiento AODV es un algoritmo de operación para redes no centralizadas en el que cada nodo opera como un dispositivo de enrutamiento, y las rutas para la transmisión de información son obtenidas como se vayan necesitando (a demanda) con poca o ninguna dependencia en búsquedas periódicas de otros nodos.

Por otra parte, debido a que no existe una autoridad centralizada que asigne radiofrecuencias específicas, ranuras de tiempo o códigos a diferentes nodos que están totalmente distribuidos, los nodos tienen que contender ellos mismos por el acceso al medio. Por ende, los protocolos de Control de Acceso al Medio (MAC) juegan un papel importante en el desempeño de la red ad-hoc. Un protocolo MAC define como cada nodo puede compartir el recurso limitado de ancho de banda inalámbrico de una manera eficiente [7].

Por lo tanto, en este trabajo de investigación se reporta la integración de la capa de control de acceso al medio, usando CDMA (Acceso Múltiple por División de Código), y la capa de red (enrutamiento) en este caso manejando el protocolo AODV. Además se presentan resultados del desempeño para AODV-CDMA considerando distintas tasas de transmisión.

La organización de este trabajo es como sigue: como inicio se presentan las características del protocolo de enrutamiento AODV, para que posteriormente se analice CDMA como técnica de control de acceso al medio. Después de analizar AODV y CDMA se lleva a cabo el proceso de simulación y de resultados de la interacción de la capa MAC y de red (enrutamiento) con distintas tasas de transmisión. Por último proveemos las conclusiones de este trabajo.

Protocolo de enrutamiento AODV

El algoritmo de enrutamiento AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector) fue diseñado con el propósito de ser un sistema reactivo de adquisición de rutas [5], [6]; o sea, es un sistema con una menor congestión de tráfico de datos debido a que se crean trayectorias de un origen a un destino a través de una red de nodos sólo cuando hay información que se requiera transmitir, y no existe comunicación de lo contrario: las rutas sólo se diseñan y se mantienen de ser necesitadas; de lo contrario, se descartarán.

Con el conjunto de mecanismos que contiene este algoritmo, se busca:

a) Transmitir paquetes de descubrimiento sólo cuando sea pertinente, minimizando la carga de la red y el tráfico.

b) Distinguir gestión de conectividad local (detección de nodos cercanos) y mantenimiento general de topología.

c) Diseminar información sobre los cambios en la conectividad local a los nodos móviles que probablemente necesiten estos datos.

d) Asegurar rutas libres de lazos cerrados.

Cuando existe una red de nodos, un método que este algoritmo utiliza para saber sobre otros nodos es transmitiendo mensajes "*hello*" (mensajes para hacer saber a otros nodos de la presencia del nodo que lo envía), de los cuáles se espera obtener una respuesta para descubrir si hay un nodo activo en las cercanías. Cada nodo contiene tablas de ruteo con los datos de los tiempos de respuesta óptimos de espera [6].

Para descubrir las rutas, se usa un mecanismo de difusión (es decir, que se transmite a todos los nodos que lo puedan recibir, similar a ondas de radio), y de manera dinámica, se llenan tablas de ruteo en los nodos intermedios de la trayectoria [5]. Ahora bien, esto puede ocasionar que los nodos contengan diferentes tablas de ruteo que el paquete transmitido, o tablas de ruteo con información menos reciente que en otro nodo, y se podría ocasionar un conflicto de rutas, ya que los nodos no sabrían cuál ruta obedecer; para solucionar esto, cada nodo contiene un número de secuencia incremental que se usa para identificar qué tan reciente es la información de la tabla de ruteo. Además, así como en el algoritmo DSDV, se usa un sistema en el que se identifica mediante numeración la secuencia de los nodos para llegar al destino.

Protocolo MAC basado en CDMA

Para el análisis de la capa MAC, se plantea el uso de la técnica CSMA/CA (acceso múltiple por detección de portadora evitando colisión) y para resolver el problema del nodo oculto y expuesto se utiliza el mecanismo RTS/CTS (petición para enviar/confirmación para enviar) [8]. A esta técnica se le adapta CDMA para poder transmitir simultáneamente varios nodos [9]. Por otra parte, en el esquema basado en CDMA cuando un nodo transmite un paquete, manda un RTS a todos los nodos adyacentes en un código común. El nodo receptor manda un CTS y comienza la transmisión en un código basado en el receptor. En este proceso de "handshaking" existen fallas debido a la congestión de red. A medida que aparece la falla en el proceso de "handshaking", el nodo pasa a un estado de retroceso (backoff) y debe entonces retransmitir la información. Esta falla parece por dos razones: 1) Colisiones en el proceso de "handshaking", 2) La interferencia (MAI) causada debido a los nodos activos que están transmitiendo a otros nodos.

En CDMA, el ancho de banda es constante, es dado por:

$$B=1/T_c \tag{1}$$

donde T_c es el chip time.

Si la ecuación (1) se multiplica y divide entre la duración del bit (T_b), obtenemos:

$$B = \frac{1}{T_c} = \frac{T_b}{T_c}\frac{1}{T_b} \rightarrow \text{es constante} \tag{2}$$

Observamos que el ancho de banda se constituye de dos términos: T_b/T_c es la ganancia de procesado (P_G) y $1/T_b$ es la tasa de transmisión en bps. Por lo tanto, el ancho de banda puede ser expresado en términos de la ganancia de procesado y la tasa de transmisión:

$$B = \frac{1}{T_c} = \frac{T_b}{T_c}\frac{1}{T_b} = P_G R_b \text{ es constante.} \tag{3}$$

Si la tasa de transmisión es fija, tendrá un cierto nivel de protección contra la interferencia. En caso de carga baja en el canal, esto se debe a que hay menos nodos adyacentes transmitiendo simultáneamente y el nivel de interferencia será bajo. Por ende, una ganancia de procesado alta no será necesaria. En tales circunstancias, se puede reducir la ganancia de procesado e incrementar la tasa de transmisión en la misma proporción, de manera que la información que fluye por unidad de tiempo en el canal es mayor y consecuentemente el retardo puede ser reducido [10].

El objetivo principal de esta fusión es proveer información de la capa MAC a la capa de red para tener un diseño de red eficiente. En redes Ad hoc basada en CDMA, es primordial encontrar la trayectoria para establecer la transmisión de todos los reenvíos y permitir la transmisión de paquetes. Por otra parte, con el protocolo AODV-CDMA se debe tener más flexibilidad para llegar al destino y consumir eficientemente los recursos de la red. Además, reducir el número innecesario de envíos y el rango de un nodo es controlado para optimizar el descubrimiento de la ruta. Las transmisiones de todos los reenvíos en un protocolo AODV pueden reducirse utilizando la relación señal a interferencia. La relación señal a interferencia recibida en un nodo receptor indica la distancia aproximada de transmisión y la interferencia multiacceso sufrida por los nodos vecinos.

Para elaborar la fusión AODV-CDMA basada en redes ad-hoc, se definen normas adicionales en el protocolo AODV tradicional, siendo estas: en cada uno de los nodos se calcula la relación señal a interferencia, que indica la distancia para la transmisión, gracias a estos datos se crea una tabla de distancias que auxilian en el descubriendo de la ruta. Con los datos obtenidos se realizan comparaciones entre los nodos que se localizan entre el nivel mínimo y máximo de la relación señal a interferencia. El mensaje de petición de ruta y réplica de ruta son modificados y así se obtiene la distancia de cada nodo. Por lo cual, con el

mensaje de petición de ruta y réplica de ruta es posible obtener la distancia donde se localizan los nodos y con esto seleccionar la ruta óptima.

Una vez conocidos ambos protocolos (AODV y CDMA), en la siguiente sección se tendrá el proceso de simulación y análisis de resultados de AODV-CDMA con distintas tasas de transmisión.

Simulación y análisis de resultados

Para la simulación, primero se va a evaluar el desempeño de algoritmo de enrutamiento AODV. Para demostrar si AODV encuentra la trayectoria demandada de forma rápida, se midió el tiempo que toma desde que se inicia la búsqueda de un nodo hasta el momento en que éste recibe la información que se le ha enviado (ver Tabla 1).

Tabla 1. Tiempo total de envío de información.

Nodos	*Tiempo (ms)*
50	914.5
80	252.65
120	88.16

De los resultados de la Tabla 1, podemos observar que la red de menos nodos es la que toma más tiempo en encontrar al destino, y la red con más nodos es la que llega al destino más rápido; de esto, deducimos que el tiempo total requerido para enviar información es inversamente proporcional al número de nodos en la red.

Asimismo, en la Fig. 1, podemos observar el porcentaje de éxito para crear una ruta a un nuevo nodo de interés, así como el número de saltos y el número de búsquedas promedio que fueron requeridos para las diferentes poblaciones (nodos) utilizadas.

De acuerdo a la Fig. 1 observamos que la probabilidad de que la información llegue a su destino utilizando este algoritmo es mayor al incrementar el número de nodos, aunque aumenta el número de saltos al hacer esto. Por otra parte, el número de búsquedas del destino también se ve afectado por cantidad de nodos en la red, aunque no enormemente; podemos ver que la red de 50 nodos tuvo el mayor número de búsquedas, y que la red de 80 nodos tuvo un menor número de búsquedas que en la red de 120 nodos, pero podría atribuirse esto a uno de dos factores:

1) Que el número de nodos es inversamente proporcional al número de búsquedas, pero el resultado obtenido se debió a factores aleatorios de tráfico que hicieron que el resultado esperado fuera diferente del obtenido.
2) Que el número óptimo para que se realizaran menos búsquedas fue de 80 nodos, ya que entre mayor sea la cantidad de nodos, son más las rutas a encontrar, y en un número menor de nodos, puede existir más congestión de tráfico y menos alternativas para utilizar como trayectorias del origen al destino.

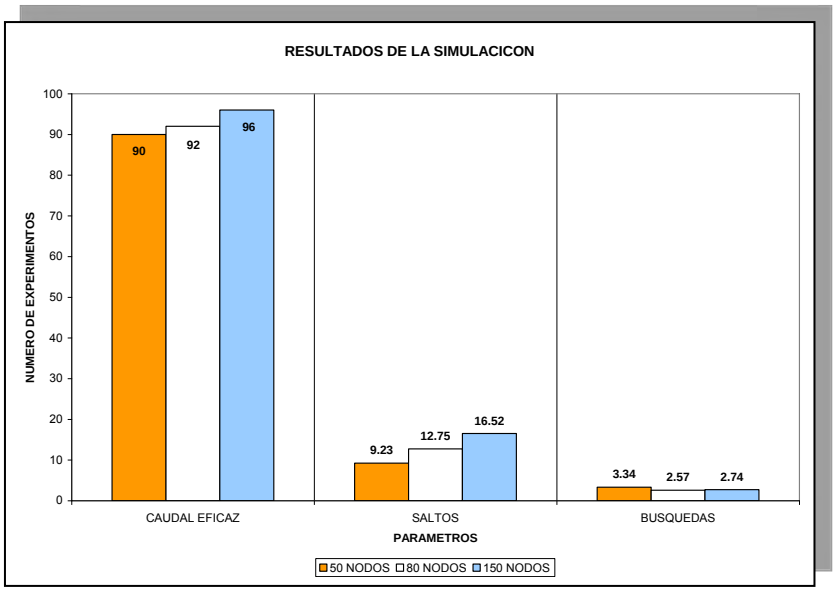


Fig. 1. Resultados de la simulación para AODV.

Después de obtener los resultados de AODV a continuación se presenta el resultado del protocolo AODV-CDMA. El proceso de simulación fue llevado a cabo mediante un programa en Lenguaje C, en una computadora personal, el cual tomó en cuenta todos los aspectos mencionados en las secciones previas, así como las propiedades de CDMA. Las ganancias de procesado usadas son 256, 128, 64 y 32, y a través de (3) es obtenida la tasa de transmisión para cada ganancia de procesado y el número de nodos es 50 Adicionalmente, todos los nodos transmiten con la misma potencia. Además se utiliza una tasa de chip de 4.096 Mcps (mega chips por segundo).

El resultado del rendimiento (caudal eficaz) es mostrado en la Fig. 2. En esta figura se observa la simulación del rendimiento para el protocolo AODV-CDMA, en donde apreciamos que mientras se incrementa el número de nodos el rendimiento del sistema permanece constante. Por otra parte, el rendimiento (caudal eficaz) podría aumentarse siempre y cuando se utilice un algoritmo que haga un manejo dinámico de las tasas de transmisión y con esto se tendría un sistema adaptable a las condiciones del tráfico en el canal.

Conclusión

En este trabajo se analizó como primera etapa el algoritmo de enrutamiento AODV para redes ad-hoc inalámbricas que provee un buen desempeño para su implementación en redes no centralizadas, con un muy alto porcentaje de éxito en sus transmisiones y un tiempo de respuesta rápido; evita la formación de lazos cerrados y, por ende, los datos llegarán a su destino o se notificará del error de transmisión. Además, debido a ser un algoritmo de enrutamiento reactivo, evita la congestión de nodo a nodo, transmitiendo información sólo cuando sea necesario. Por otra parte se adaptó la capa de red con la capa MAC, basada en CDMA, evaluando por medio de un proceso de simulación el protocolo AODV-CDMA con diferentes tasas de transmisión. Los resultados obtenidos nos indican que es posible mantener el desempeño de forma constante con un aumento en el número de nodos. Como trabajo futuro al protocolo AODV-CDMA puede ser mejorado usando tasas de transmisión dinámica logrando con esto que se tenga una adaptabilidad del tráfico.

Agradecimientos

Este trabajo de investigación fue llevado a cabo con el apoyo del fondo institucional UAT10-ING-0217.

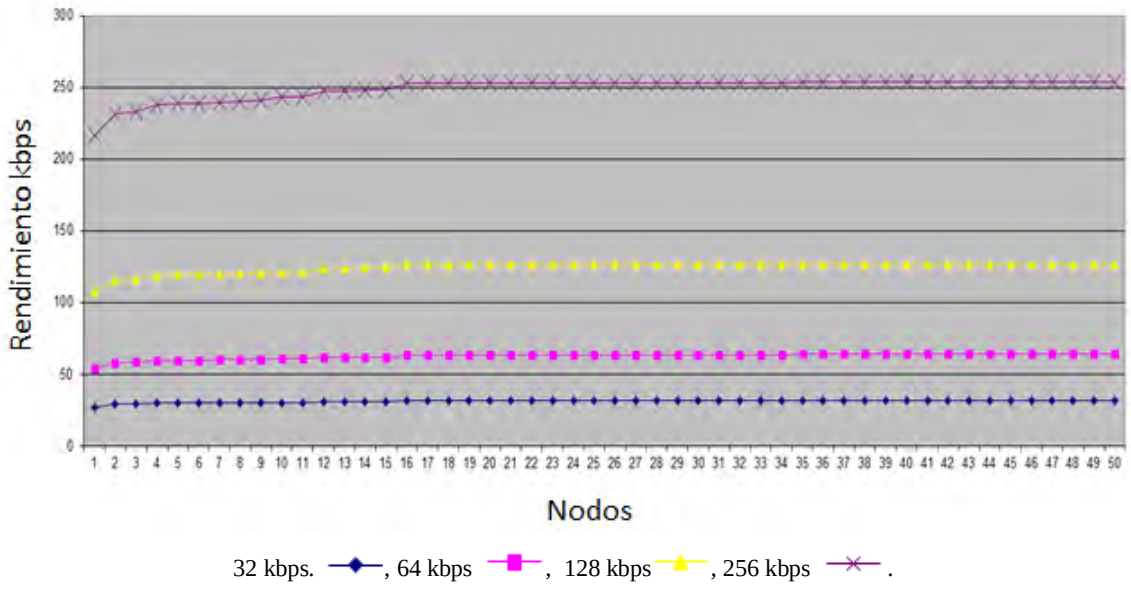


Fig. 2. Simulación de rendimiento para el protocolo AODV-CDMA.

Referencias

[1] Royer, E.M. and Chai-Keong, T. "A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks". *IEEE Personal Communications*. Vol. 6(2). April 1999. pp. 46-55.

[2] Ramanathan, R. and Redi, J. "A Brief Overview of Ad Hoc Networks: Challenges and Directions". *IEEE Communications Magazine*. Vol. 40(5). May 2002. pp. 20-22.

[3] Qin, L. and Kunz, T. “Survey on Mobile Ad Hoc Network Routing Protocols and Cross-Layer Design”. Technical Report, Carleton University, Systems and Computer Engineering, T.R. SCE-04-14. August 2004. http://kunz-pc.sce.carleton.ca/Thesis/RoutingSurvey.pdf

[4] Lang, D. “A comprehensive overview about selected Ad Hoc Networking Routing Protocols”, Technical Report, Department of Computer Science, Technische Universität München. March 2003. http://wwwbib.informatik.tu-muenchen.de/infberichte/2003/TUM-I0311.pdf

[5] Perkins, C.E. and Royer, E.M. “Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing”. *In Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, New Orleans, LA, February 1999, pp. 90-100.

[6] Moreno-Lemus, A. “Análisis del Desempeño del Algoritmo de Enrutamiento AODV para Redes Inalámbricas”. *Tesis de Licenciatura*. Departamento de Electrónica. UAT. Reynosa, Tamaulipas. México. Junio de 2008.

[7] Méndez, A. Covarrubias, D. Vargas, C. *Análisis de Prestaciones para Protocolos de Control de Acceso al Medio*. 1era edición. Agosto 2009. Innovación Editorial Lagares de México, S.A. de C.V. Naucalpan, Estado de México. México. pp. 71.

[8] Hoang, D. and IItis, R.A. “Performance Evaluation of Multi-Hop CSMA/CA Networks in Fading Environments”. IEEE Transactions on Communications. Vol. 56(1). January 2008. pp.112-125.

[9] Mendez, A. Aquino, R. Covarrubias, D. and Panduro, M. “Performance Evaluation of the RQMA-CDMA Scheme for Multimedia Traffic with QoS Guarantees,” *AEU International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 64 (10). October 2010. pp. 916-923.

[10] Mendez, A. Panduro, M. Covarrubias, D. Dominguez, R. and Romero, G. “Quality of Service Support for Multimedia Traffic in Mobile Networks using a CDMA Novel Scheduling Scheme”. *Computers and Electrical Engineering Journal special issue on "Recent Advances in Wireless Networks and Systems"*. Vol. 32(1-3). April 2006. pp. 178-192

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 19. Volumen 4(3), 10 páginas.

DISEÑO CONCEPTUAL MEMS APLICADO A LA DETECCIÓN DE FUGAS DE CAMPO MAGNÉTICO

César Alonso Gutiérrez Rojas[1], Hugo Gámez Cuatzin[2], Alfonso Gómez Espinosa[3].

Resumen

Este trabajo se enfoca en el diseño de un sensor MEMS para aplicación en la técnica de *fugas de campo magnético*. Los sensores que normalmente se utilizan para esta técnica son de Efecto Hall. La línea de este trabajo se basa en explorar una alternativa en el uso de sensores proponiendo un sensor MEMS que pueda cubrir las necesidades de esta técnica y aprovechar las ventajas de los sensores tipo MEMS. El diseño conceptual parte de pruebas de campo realizadas con sensores de Efecto Hall y a partir de conocer la sensibilidad requerida y los parámetros apropiados utilizados en esta técnica, se propone un sensor MEMS que trabaja con corriente por tuneleo. Actualmente se está trabajando en la simulación de este diseño en un software de Elemento Finito, en este artículo se presentan resultados preliminares conforme a lo esperado.
Palabras clave: Elemento finito, túnel de electrones, fugas de campo magnético, MEMS.

Summary

This work focuses on a MEMS sensor concept design for magnetic flux leakage applications. The sensors normally used for this technique are Hall effect based. The lead line of this work is based on exploring an alternative in the use of MEMS sensors by proposing a sensor concept that can be used for this technique and take advantage of these MEMS characteristics. The conceptual design starts from field trials with Hall Effect sensors and from knowing the sensitivity required and the appropriate parameters used in this technique, we propose a MEMS sensor that works by tunneling current. We are currently working on the simulation of this design using Finite Element software, and partial positive results are expected.
Palabras clave: Finit Element, Electron tunneling, Magnetic Flux Leakage, MEMS.

Introducción

Antecedentes

Los sistemas micro-electromecánicos (MEMS), consisten en la integración de elementos mecánicos, eléctricos, sensores y actuadores, a nivel microscópico, en un sustrato de silicio. Actualmente se utilizan en diversos sectores como el militar, automotriz, aeroespacial, medico, entre otros.

La detección de Fugas de Flujo Magnético es una técnica utilizada para inspeccionar superficies ferrosas, perteneciente a ensayos no destructivos. Esta técnica se basa en conducir un campo magnético a través del material a inspeccionar. Este campo pasa por el material hasta encontrar una falla, grieta, picadura, lo que significa una reducción de espesor, las líneas de campo que ya no encuentran por donde pasar debido a esta pérdida de material, se fugan del mismo para pasar por el aire, estas líneas de campo que se fugan son detectadas por un sensor de campo magnético (ver Fig. 1). La técnica también se conoce como MFL por sus siglas en inglés Magnetic Flux Leakage.

Problemática

Básicamente se utilizan 3 tipos de sensores de Efecto Hall para MFL:

[1] Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial. Av. Playa Pie de la Cuesta No. 702, Desarrollo San Pablo. Tel. 01-442-211-98-00 Ext1353. E-mail: c_alonso182@hotmail.com
[2] Idem. E-mail: hgamez@cidesi.mx
[3] Idem. Ext. 1412. E-mail: agomez@cidesi.mx

- Arseniuro de indio (InAs): menor sensibilidad que InSb, resultando en una baja resistencia de ruido de bajo gasto, coeficiente de temperatura (VT) de salida inferior a -0,1% / ° C.
- Arseniuro de galio (GaAs): alta sensibilidad, alta resistencia haciéndolos relativamente ruidoso, coeficiente de temperatura de salida (VT) inferior a -0,1%/°C.
- Antimoniuro de indio (InSb): alta sensibilidad, baja resistencia que resulta en el ruido de bajo gasto, coeficiente de temperatura de salida (VT) es de -1,0% / ° C.

Nota: VT coeficiente de temperatura, es el porcentaje en que aumenta la tensión a razón del aumento de la temperatura.

Los sensores de Efecto Hall con mayor sensibilidad no alcanzan la escala de μT (ver Fig. 2). Es necesario mencionar que tanto la resolución como la sensibilidad de la técnica están directamente relacionadas con la sensibilidad de los sensores que detectan las fugas de campo, es decir, una pérdida de material abrupta implica una gran cantidad de líneas de campo magnético "fugado" y estas son fáciles de detectar, sin embargo una pequeña grieta o lo que es lo mismo, una pequeña pérdida de espesor, implica una pequeña fuga de campo, por lo que se necesita un sensor capaz de detectar un campo magnético pequeño, esto significa que mientras mayor sensibilidad tenga el sensor de MFL esta técnica será capaz de detectar imperfecciones más pequeñas.

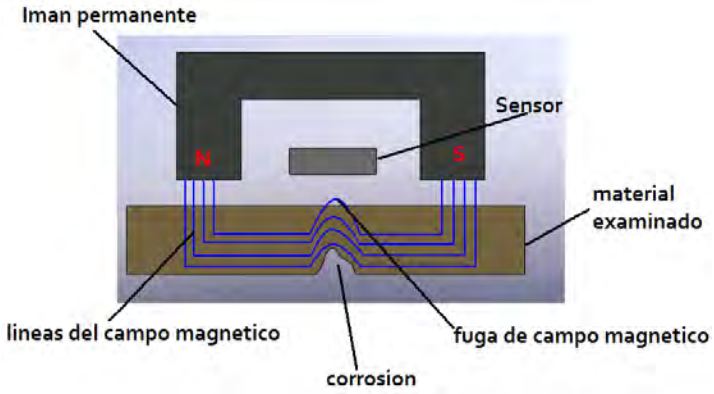


Fig.1. Esquemas de funcionamiento MFL.

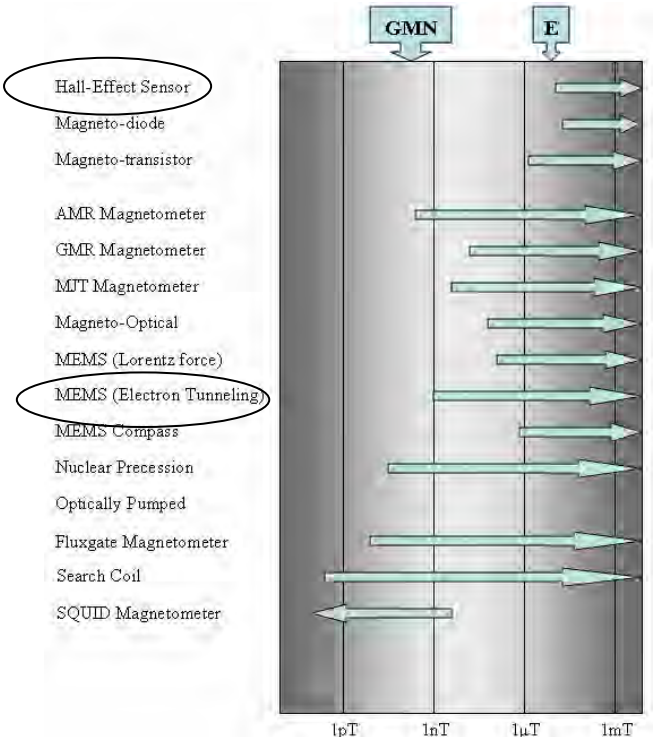


Fig.2. Los símbolos E (strength of the Earth's) y GMN (geomagnetic noise) se utilizan para indicar la fuerza del campo magnético de la tierra y de ruidos geomagnéticos respectivamente [1] .

En una prueba realizada a una placa hierro de 80×30 cm y 2cm de espesor (ver Fig. 3) con distintos tipos de falla se obtuvo que los valores iban desde 0.1 G donde no había falla (ver Fig. 4), valor que muestra que estaba saturado el material (el material se satura para asegurar que al encontrar una pérdida de espesor por pequeña que sea, las líneas de campo se tendrán que ir por el aire) y el campo magnético detectado en el aire es mínimo hasta los 2.5 G en donde había la falla de una pérdida del 100 % de espesor (ver Fig. 5).

La resolución del sensor de Efecto Hall fue insuficiente para realizar las pruebas en la placa, ya que el sensor no es confiable midiendo menos de 15 G, por lo que las pruebas se realizaron con un equipo de alta precisión, el 7030 three-channel GAUSS/TESLA METER de la marca F.W. Bell.

Un gauss (G) es una unidad de campo magnético del Sistema Cegesimal de Unidades. La unidad del Sistema Internacional de Unidades (SI) para el campo magnético es el tesla (T).

Un G es equivalente a 10^{-4} T ó 1 T = 10 000 G, por lo que los valores arrojados por la prueba realizada con el GAUSS/TESLA METER son en el Sistema Internacional 10^{-5} T para la medición sin falla (ver Fig. 4) y $25x10^{-5}$ T para la medición en la falla con 100% de pérdida de espesor (ver Fig. 5). Lo que deja claro que los sensores de efecto Hall promedio no pueden hacer estas mediciones debido a la resolución que manejan (ver Fig. 2).

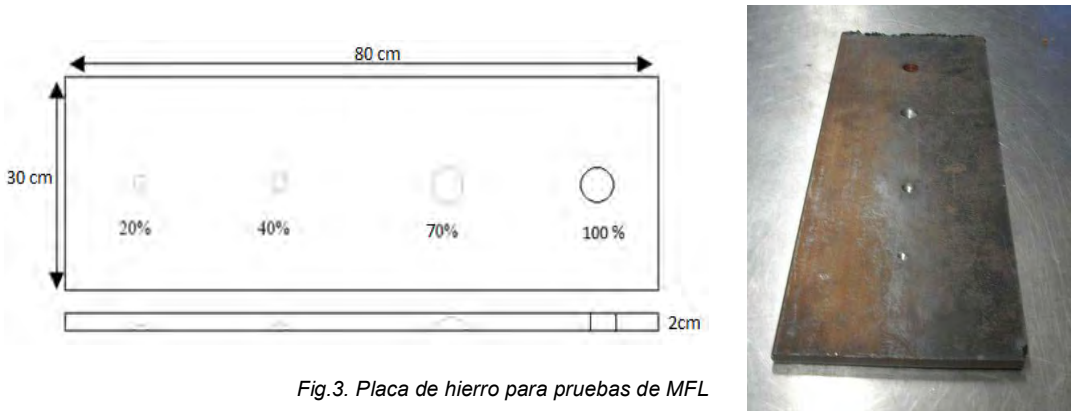


Fig.3. Placa de hierro para pruebas de MFL

Fundamentos teóricos

MEMS

Los sistemas micro electromecánicos presentan importantes ventajas, en general tienen:

- Bajo costo
- Bajo consumo de energía
- Pequeñas dimensiones
- Alto desempeño
- Integración con electrónica
- Confiables
- Fácil adaptación e integración a sistemas actuales

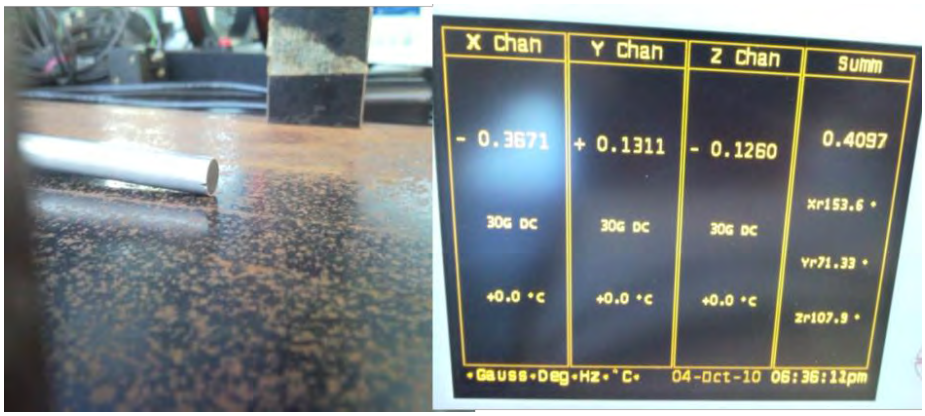


Fig.4. Medición en la placa sin falla.

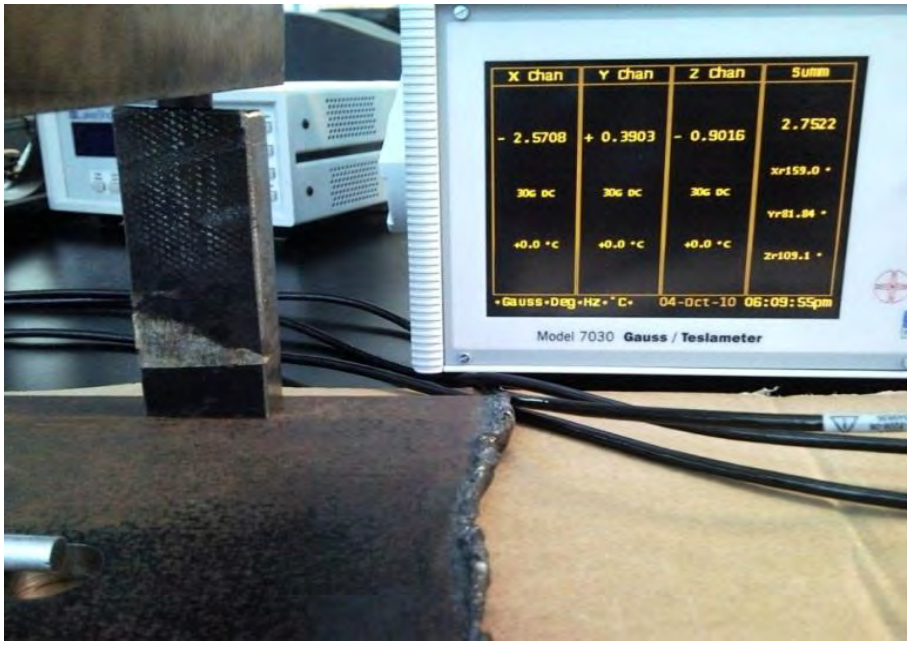


Fig.5. Medición en la placa en la falla donde se encuentra una pérdida de espesor del 100%.

Corriente de tuneleo

El principio de funcionamiento de la corriente por tuneleo (ver Fig. 6) o en inglés *electron tunneling* utilizado en sensores de campo magnético ofrece las siguientes ventajas [2] :

- Alta precisión y sensibilidad (nT).
- Puede hacerse por micro maquinado en silicio.
- Puede ser operado con un muy bajo consumo de potencia desde 1 mW, lo que facilita tener un arreglo de sensores.
- El sensor se puede hacer de tamaño tal que se implemente junto con su electrónica en un solo circuito integrado.

Diseño

Análisis con Elemento Finito

Existen multitud de problemas físicos cuya formulación desde un punto de vista matemático responde a una ecuación diferencial en derivadas parciales. Tal es el caso de la transmisión del calor, del electromagnetismo, de la mecánica de fluidos o del análisis estructural. La solución de dichos problemas tiene un interés elevado en ingeniería, ya que dichas soluciones son el punto de partida para el diseño y modelado de los sistemas físicos que representan aquellas ecuaciones.

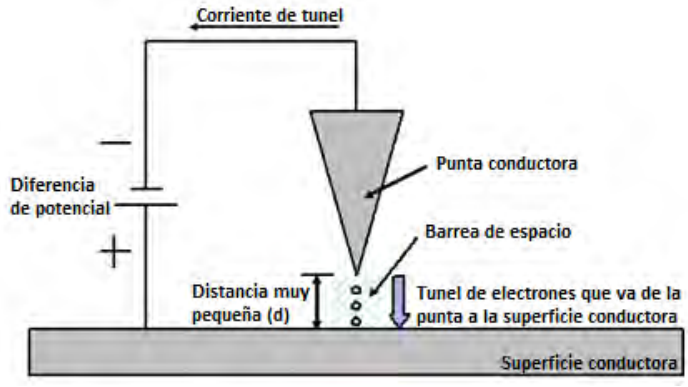


Fig.6. Esquema de funcionamiento de la corriente de efecto túnel o de tuneleo.

En general, la resolución de las ecuaciones diferenciales que formulan un problema físico es de gran complejidad. Solamente en los casos en que se hacen simplificaciones sobre las dimensiones en que se estudia el problema para las distribuciones de campo, y sobre las geometrías en que se resuelven estas ecuaciones, es posible obtener una solución analítica del problema. En dichos casos, tales simplificaciones conducen a ecuaciones diferenciales fácilmente resolubles. El método de separación de variables también proporciona solución a multitud de problemas físicos. Por otro lado la semejanza y la analogía permiten la obtención de la solución de un problema físico cuando se conoce la solución a otro problema físico (análogo) que tiene la misma forma desde un punto de vista matemático. Tal es el caso de la analogía entre la transmisión de calor en régimen permanente y la electrostática, y el caso de la analogía entre la transmisión de calor unidimensional transitoria y las ecuaciones de las líneas de transmisión.

Para todos los casos en los que las técnicas analíticas o bien porque pierden exactitud (debido a que la distribución de campo empieza a dejar de ser unidimensional), o bien porque no es posible aplicarlas, debido a que estos casos se salen del alcance de las mismas (como consecuencia de que la distribución de cargas sea 2D o 3D), es donde los métodos numéricos tienen mucha utilidad. Esta técnica consiste en la resolución de las ecuaciones diferenciales que modelan el problema mediante procedimientos numéricos iterativos, que discretizan la ecuación diferencial en una ecuación en diferencias, resolviéndola de forma iterativa. Dentro de estas técnicas destaca la técnica de análisis por elementos finitos [3,4].

Sensor MEMS para Fugas de Campo Magnético

El micro sensor consta de una viga en cantiléver (ver Fig. 7) la cual aumenta o disminuye la separación entre la punta portadora de electrones y su polo contrario al que se transportan los electrones, teniendo así un flujo de corriente, estas distancias varían por la fuerzas magnéticas ya que la viga tiene en la parte superior un micro imán permanente (ver Fig. 8) que se ve influido por fuerzas de atracción o repulsión al contacto con otro campo magnético, variando el flujo de corriente, que deberá ser medida como la indicadora del sensor.

El esquema de funcionamiento de corriente por efecto túnel del diseño se aprecia de manera directa al voltear la estructura (ver Fig. 9).

Materiales para el MEMS

Los volúmenes marcados con color verde agua (ver Fig. 10), son los conductores de corriente, en este caso un semiconductor “Si” silicio con las siguientes propiedades [5]:

- Poisson: 0.22
- Módulo de Young: 169×10^{9} Pa.
- Resistividad Módulo de Eléctrica: 2.3×10^{-11} $\Omega - \mu$m

Para el aire, que es la barrera que cruzarán los electrones, que se modela entre la punta conductora y la viga de igual material con el volumen color rojo (ver Fig. 10):

- Resistividad: 2.3×10^{10} $\Omega - \mu$m [6].
- Permeabilidad relativa magnética: 1

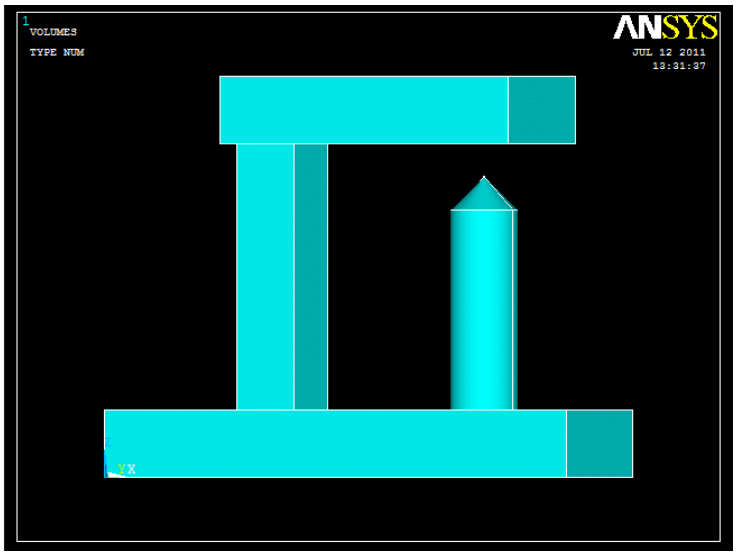


Fig.7. Viga en cantiliver.

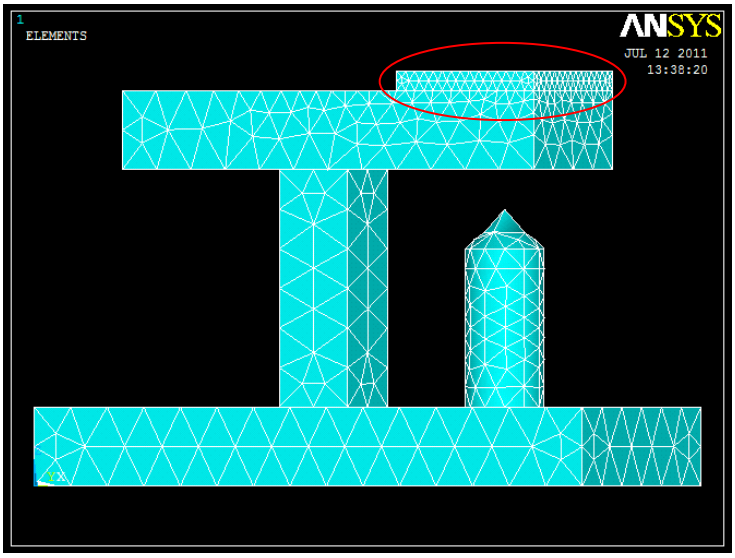


Fig.8. Viga en cantiliver con micro imán permanente

El poste entre las placas de silicio, volumen color morado (ver Fig. 10), es un dieléctrico con una muy alta resistividad eléctrica, su función es dar soporte a la viga en cantiléver y tiene resistividad tan alta que evita que la corriente cruce por ahí, obligando a los electrones a cruzar la barrera del vacío que hay entre la punta y la viga. Se compone de dióxido de silicio (SiO_2):

- Módulo de Poisson: 0.15
- Módulo de Young: $66.3x10^9$ Pa
- Resistividad Eléctrica: 10^{11} $\Omega-\mu$m

El imán permanente colocado en la parte superior de la viga, marcada con el color azul (ver Fig. 10), es un imán de tierras raras, se compone en su mayor parte por Neodimio, su composición es NdFeB (Neodimio, Ferrita y Boro), las propiedades necesarias para el análisis del comportamiento del imán son [7]:

- Curva B-H (ver Fig. 11).
- Fuerza coercitiva: 1.3 T

Análisis y resultados

Análisis y resultados Eléctricos

Aplicando una diferencia de potencial de 0.15 Volts [2]. Se rompe la barrera del dieléctrico que proporciona el aire entre los materiales semiconductores, y se da una caída de potencial (ver Fig. 12). Esta caída de potencial representa que parte de la carga que crea el punto de mayor potencial se trasladara a través de un conductor (en este caso por efecto túnel) al punto de menor potencial, este traslado de cargas implica que tenemos una corriente eléctrica entre ambos puntos.

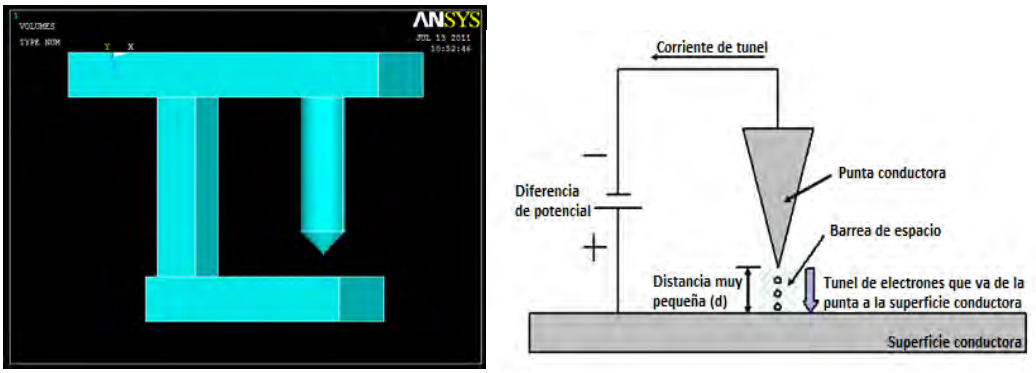


Fig.9. Vista del diseño con respecto al esquema de funcionamiento de la corriente por efecto túnel

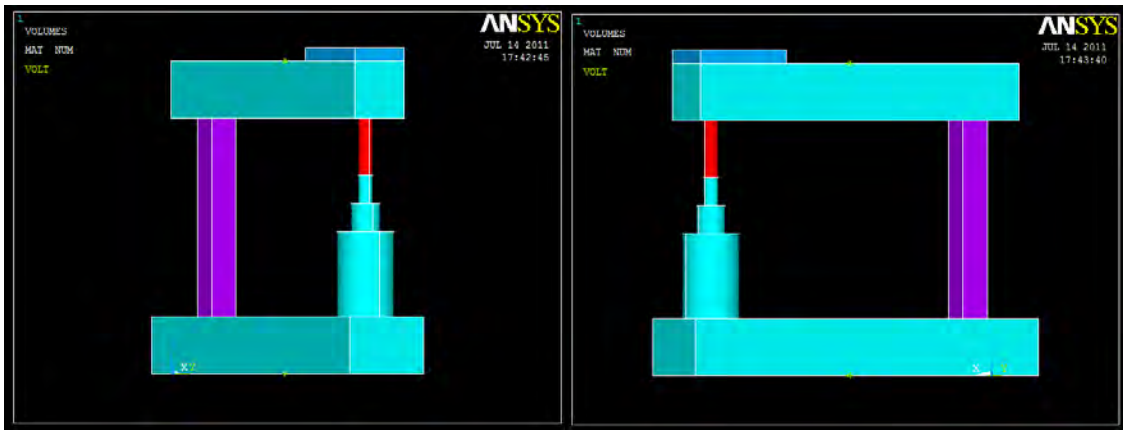


Fig.10. Estructura MEMS completa.

Cuando entre dos puntos de un circuito puede circular una corriente eléctrica continua, la polaridad de la tensión viene determinada por el sentido que sigue la corriente (cargas positivas), que es opuesto al sentido que siguen los electrones (cargas negativas); esto es, desde el punto con mayor potencial hacia el que tiene menor potencial. Por lo tanto, en la viga con color rojo aparece el valor de 0.15 V y en la viga contraria que es el polo contrario 0 V.

Esta caída de potencial generó una corriente de 0.114 x 10^{-5} A, a una distancia entre la punta y la viga de 4 μm (ver Fig. 13). La corriente crece o decrece de manera exponencial según varíe la distancia entre ambos puntos, por lo que es muy notoria una variación de corriente ante una pequeña variación en la distancia del túnel [2].

En el análisis tridimensional se cambió la punta del sensor cónica por cilindros sucesivos de menor volumen por simplificación para poder realizar el análisis, de otra manera demanda muchos recursos computacionales.

Análisis y resultados magnéticos

En la Fig. 14 se muestra en color azul el imán que va colocado en la parte superior de la viga del MEMS, la parte en color rojo es un volumen utilizado para modelar el aire, y la parte morada es un imán que se utiliza para simular el campo magnético al que será sometido el imán permanente (azul) del sensor. Esto para ver cómo interactúan los campos magnéticos y las fuerzas de atracción o repulsión que se generan sobre el imán del sensor, estas fuerzas son las que moverán la viga generando un desplazamiento que acorta o extiende la distancia entre la punta portadora de electrones y la viga.

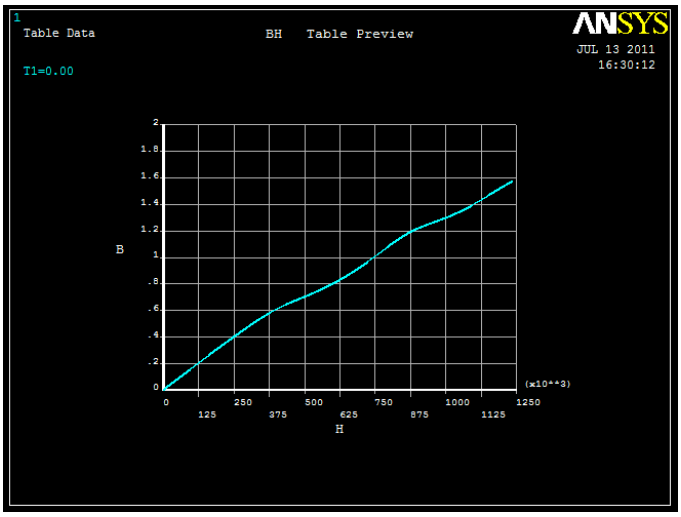


Fig.11. Curva B-H de imán NdFeB

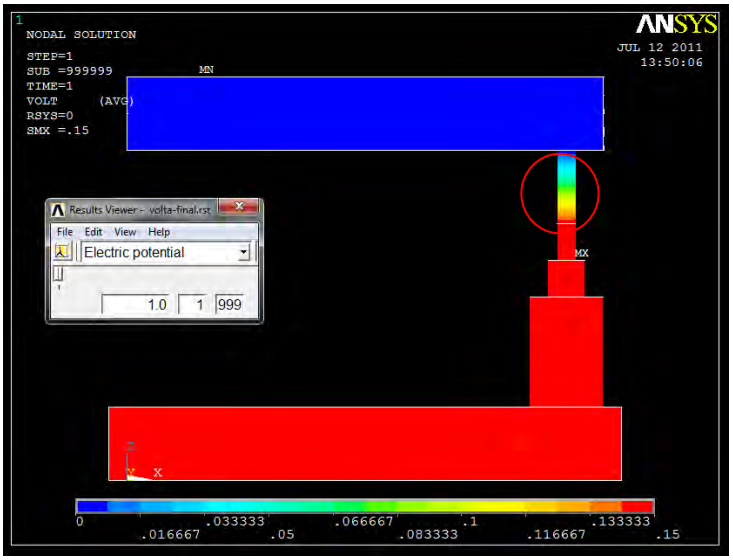


Fig.12. Caída de potencial.

Como resultado del análisis al someter el imán permanente del sensor a un campo magnético externo, en un rango de $1E^{-5}$ T a $25E^{-5}$ T, campo magnético necesario según la pruebas arrojadas por el GAUSS/TESLA METER, las fuerzas generadas por el campo magnético estuvieron en 0.001859 N, en este caso para una configuración de repelencias, es decir con polos magnéticos de la misma polaridad, lo que generó un empuje (ver Fig. 15).

Análisis y resultados Estructurales

Aplicando una fuerza de 0.001859 N como resultado de las fuerzas magnéticas a la estructura MEMS, la viga en cantiléver tiene un desplazamiento máximo de 0.464E-7 m (ver Fig. 16) aumentando la distancia entre la punta y la superficie conductora en 0.64 micrómetros. Generando con este desplazamiento una mayor oposición al flujo de la corriente, esta variación indica el campo magnético que está censando el MEMS.

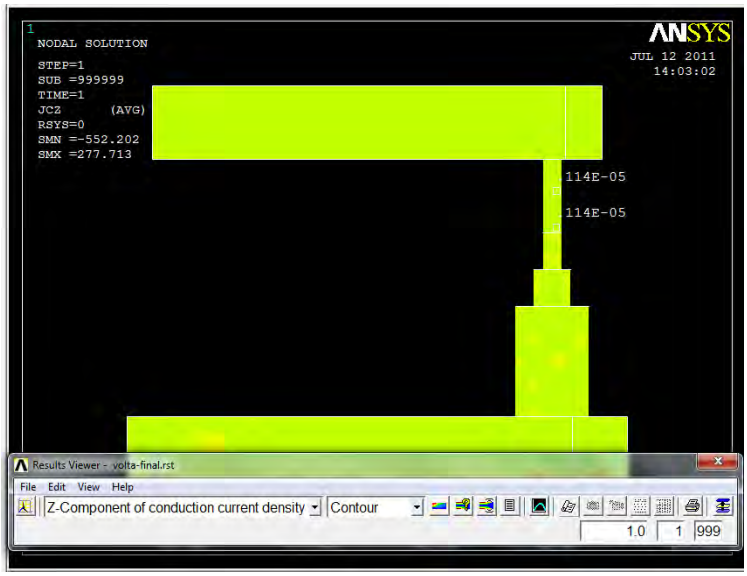


Fig.13. Corriente generada.

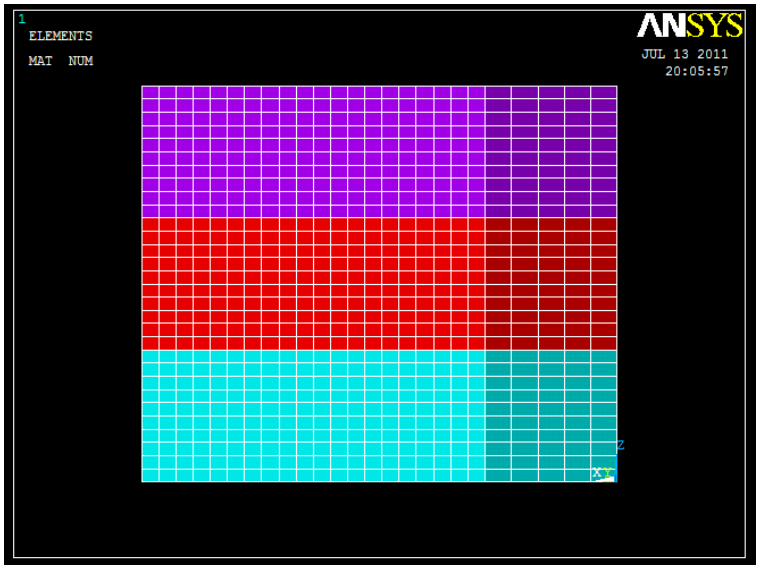


Fig.14. Estructura magnética.

Conclusión

La estructura MEMS trabaja bajo los parámetros deseados, mostrando una buena capacidad para detectar campos magnéticos pequeños alrededor de 1^{-5} T, teniendo una sensibilidad superior a la alcanzada por un sensor de efecto hall promedio, debido al funcionamiento de corriente por tuneleo, el sensor puede ser operado con un muy bajo consumo de potencia desde 1 mW, lo que facilita tener un arreglo de sensores, esto es importante en la técnica MFL pues permite el caracterizar la falla detectada, para trabajos futuros queda analizar cómo se comporta la estructura ante un campo magnético más grande, para así ver la resistencia de la estructura, también es de considerar que el campo magnético al que fue sometido en el análisis de elemento finito fue siempre paralelo a la viga, por lo que también sería interesante analizar su comportamiento cuando las líneas de campo inciden de manera angular y analizar la influencia de la temperatura en el MEMS.

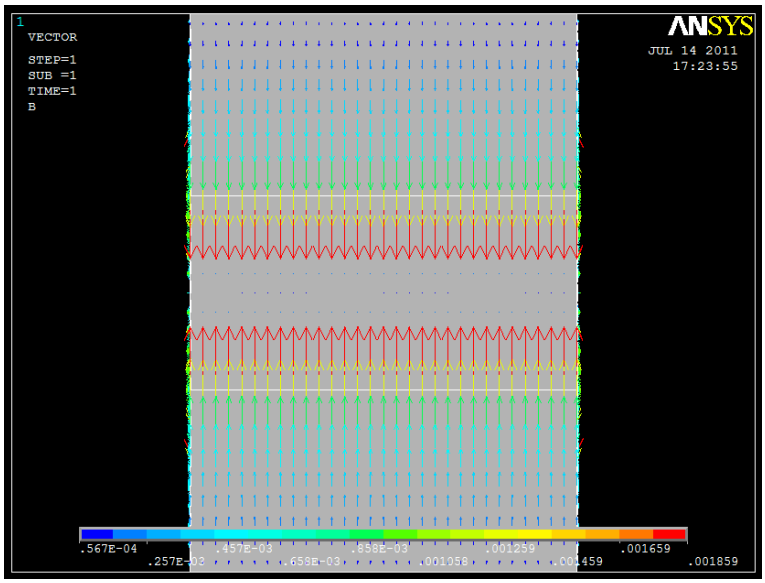


Fig.15. Vectores de fuerzas magnéticas.

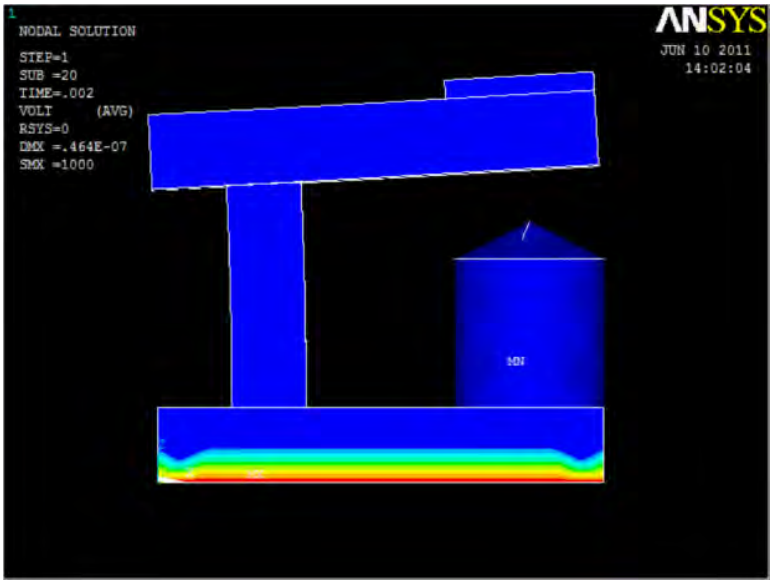


Fig.16. Desplazamientos estructurales.

Referencias

[1] A. L. Herrera-May, L. A. Aguilera-Cortés, P. J. García-Ramírez y E. Manjarrez. Sensors, Resonant magnetic field sensors based on MEMS technology, Sensors 9,7785-7813, (2009).
[2] DiLella, Daniel. Lorton. Colton Richard. "Electron tunneling magnetic field sensor with constant tunneling current maitained between tunneling tip and rotable magnet". *United states patent* No. 5,481,1899. Año (1996 junio 2).
[3] Miguel Escribano Ródenas, "Modelado Térmico de Componentes Magnéticos en Electrónica de Potencia de Alta Frecuencia mediante Técnicas Analíticas y de Análisis por Elementos Finitos Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid de la Universidad Politécnica de Madrid (2005).
[4] R. PRIETO LÓPEZ "Análisis y Optimización de Componentes Magnéticos mediante Técnicas de Elementos Finitos" Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid de la Universidad Politécnica de Madrid (1998).
[5] Tutorials ANSYS Release12.1 chapter 5 Micro-electromechanical system (MEMS). Año (noviembre 2009).
[6] Pawar, S. D. Murugavel, P. Lal, D. M. "Effect of relative humidity and sea level pressure on electrical conductivity of air over Indian Ocean". Journal of Geophysical Research 114: D02205. (2009).
[7] Xueren Wang. Mark Tillack, "2-D Magnetic Circuit Analysis for a Permanent Magnet Used in Laser Ablation Plume Expansion Experiments" University of California, San Diego. Año (Diciembre 2002).
[8] Gwan Soo Park and Eun Sik Park. Improvement of the sensor system in
[9] magnetic flux Leakage-Type Non-destructive Testing. IEEE transactions on magnetics, Vol.38, NO.2, March (2002)
[10] R.K. Calvin1, V.V. Zhirnov1, G.I. Bourianoff1,2, Research Directions and challenges in nanoelectronics J. of Nanop.Res.(2006).

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 21. Volumen 4(3), 6 páginas.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE UN CONTROLADOR PID *WAVELET*. PRIMERA PARTE

Homero Roldán Rubio[1], Benjamín Alfonso Itzá Ortiz[2], Luis Enrique Ramos Velasco[3].

Resumen

En este trabajo se analiza la estabilidad de un controlador PID multiresolución, el cual hace uso de la teoría *wavelet* para la descomposición de la señal de error de seguimiento. Se presenta una función de error general en términos de errores parciales la cual nos da las diversas frecuencias en las que aparece el error. Una vez obtenido el espectro de la señal del error, dividimos el error en sus frecuencias que se ponderan por unas ganancias propuestas por el diseñador y suponiendo que la señal es constante se obtiene la estabilidad del sistema de lazo cerrado.

Palabras clave: Controlador PID, Estabilidad, Teoría *Wavelet*.

Summary)

In this work we analyze the stability of a PID multiresolution controller, which uses *wavelet* theory for the decomposition of the tracking error signal. We present a general error function in terms of partial errors which gives us the various frequencies appearing in the general errors. Once we obtain the spectrum of the error signal, we divide the error at frequencies that are weighted by earnings proposed by the designer, and assuming that the reference signal is constant, it follows the stability of the closed loop system. The experimental results will be published in the future.

Keywords: PID controller, Stability, *Wavelet* Theory.

Introducción

El controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) es uno de lo más usados en la industria. Recientemente se ha propuesto un controlador multiresolución PID *wavelet* (ondoleta) en la literatura [3,4], en este trabajo discutiremos los resultados teóricos para la estabilidad de dicho controlador, en base a las propiedades de las *wavelet* y la norma Euclidiana del espacio. Las simulaciones que corroboran estos resultados teóricos son un trabajo en progreso [5]. Este artículo se divide en dos partes, en la primera parte se dan algunas definiciones de la teoría de control, de igual forma se abordan conceptos esenciales de la teoría *wavelet*, y en la segunda parte se combinan las dos teorías de la sección anterior y se establecen los resultados de esta investigación desde un punto de vista teórico.

Material y Método

Teoría de control

Usualmente, en teoría control, una planta es modelada por una ecuación diferencial de orden n. Para nuestra conveniencia nosotros usaremos la representación matricial en variables de estado dado por (1).

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx \end{aligned} \tag{1}$$

[1] Universidad Autónoma del Estado Hidalgo, Pachuca de Soto, Hidalgo, México, 42090. E-mail: wolfox6613@yahoo.com.mx
[2] Centro de Investigación en Matemáticas, Universidad Autónoma del Estado Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, 42090. E-mail: itza@uaeh.edu.mx
[3] Centro de Investigación en Tecnologías de Información y Sistemas, Universidad Autónoma del Estado Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, 42090. E-mail: lramos@uaeh.edu.mx

donde x es el vector de estado, u es el vector de entrada, y es el vector de salida, A es la matriz de estado, B es la matriz de entrada y C es la matriz de salida. Nosotros podemos resolver el sistema de ecuaciones usando la transformada de Laplace obteniendo su solución

$$\begin{aligned} x(t) &= e^{A(t-t_0)}x(t_0) + \int_{t_0}^{t} e^{A(t-t_0)}Bu(\tau)d\tau \\ y(t) &= Cx(t) \end{aligned} \tag{2}$$

Si asumimos que A, B y C son matrices constantes para obtener la forma discreta de (2) si $t = nT$ con $n = 1, 2, 3...$ entonces

$$\begin{aligned} x(n+1) &= e^{AT}x(n) + \int_{nT}^{(n+1)T} e^{A(nT+T-\tau)}Bu(\tau)d\tau \\ y(n+1) &= Cx(n+1) \end{aligned} \tag{2}$$

Definimos como en [1]

$$\begin{aligned} \Phi &= e^{AT} \\ \Gamma &= \left(\int_0^T \Phi d\tau\right)B \end{aligned} \tag{3}$$

Entonces obtendremos:

$$\begin{aligned} x(n+1) &= \Phi x(n) + \Gamma u(n) \\ y(n+1) &= Cx(n+1). \end{aligned} \tag{4}$$

Teoría *wavelet*

Nosotros vamos a ocupar la teoría *wavelet* usada en [2]. Definiremos a $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$ como un espacio vectorial sobre los complejos $\mathbb{C}$ de la siguiente forma

$$\ell^2(\mathbb{Z}_N) := \{z = (z(0), z(1), \dots, z(N-1)) : z(j) \in \mathbb{C}, 0 \le j < N\}$$

Consideraremos que toda z en $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$ se encuentra definida para todos los número enteros usando periodicidad módulo N de la siguiente manera:

$$z(j+N) = z(j)$$

para toda j en los enteros.

Definición 1. Supongamos que z y w son elementos de $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$, el producto interno está dado por

$$\langle z, w\rangle = \sum_{k=0}^{N-1} z(k)\overline{w(k)}.$$

Y la norma asociada al producto interno es

$$\|z\| = \left(\sum_{k=0}^{N-1} |z(k)|^2\right)^{1/2}.$$

Definición 2. Sea z un elemento de $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$ para $m = 0, 1, .., N-1$ definiremos

$$\hat{z}(n) = \sum_{n=0}^{N-1} z(n)e^{-2\pi imn/N}.$$

Denotaremos que $\hat{z} = \left(\hat{z}(0), \hat{z}(1), ..., \hat{z}(N-1)\right)$. Entonces el mapeo $\widehat{\ } : \ell^2(\mathbb{Z}_N) \to \ell^2(\mathbb{Z}_N)$ que lleva z a $\hat{z}$ es llamado la transformada discreta de Fourier (usualmente llamada DFT por sus siglas en inglés o TDF por las mismas en español).

Definición 3. Si z pertenece a $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$ y k es un elemento de los enteros entonces definiremos para toda n

$$\left(R_k(z)\right)(n) = z(n-k).$$

Definición 4. Para cualquier w que pertenece a $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$. Definimos a $\tilde{w}$ para toda n en los enteros como:

$$\tilde{w}(n) = \overline{w(-n)} = \overline{w(N-n)}.$$

Definición 5. Para z y w elementos de $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$, la convolución $z * w$ en $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$ será el vector con las componentes:

$$(z * w)(m) = \sum_{n=0}^{N-1} z(m-n)w(n)$$

para toda m.

Definición 6. Supongamos que N es un natural par es decir $N = 2M$ para algún M en los naturales una base ortonormal de $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$ con la forma:

$$\{R_{2k}u\}_{k=0}^{n-1} \cup \{R_{2k}v\}_{k=0}^{N-1}$$

donde u, v son elementos de $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$ es llamada la primera etapa de la base *wavelet* para $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$. A u y v se les llaman generadores, usualmente a u se le llama la *wavelet* padre y v la *wavelet* madre.

Definición 7. Supongamos que M es un natural y $N = 2M$. Definimos $D: \ell^2(\mathbb{Z}_N) \to \ell^2(\mathbb{Z}_M)$ para $n = 0,1,...,M-1$ como:

$$D(z)(n) = z(2n).$$

Definición 8. Supongamos que N es divisible por 2^p. La p-ésima etapa de filtros de secuencia *wavelet,* es el siguiente conjunto de vectores $\{u_1, v_1, u_2, v_2, ..., u_p, v_p\}$, donde para cada $l = 1,2,..,p$, los vectores u_l, v_l son elementos de $\ell^2(\mathbb{Z}_{N/2^{l-1}})$ y la matriz:

$$A(n) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} u_l(n) & \hat{v}_l(n) \\ u_l\left(n + N/2^l\right) & \hat{v}_l\left(n + N/2^l\right) \end{pmatrix}$$

es unitaria para toda $n = 1,2,..,(N/2^l)-1$. Para z en $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$ definimos

$$x_1 = D(z * \tilde{v}_1) \text{ en } \ell^2(\mathbb{Z}_{N/2})$$

y

$$y_1 = D(z * u_1) \text{ en } \ell^2(\mathbb{Z}_{N/2}).$$

Recursivamente definimos $x_2, y_2, x_3, y_3, ..., x_p, y_p$ como:

$$x_l = D(x_{l-1} * \tilde{v}_l) \text{ en } \ell^2(\mathbb{Z}_{n/2^l})$$

y

$$y_l = D(x_{l-1} * u_l) \text{ en } \ell^2(\mathbb{Z}_{N/2^l})$$

para $l = 2,..,p$. Se le llama p-ésima etapa *wavelet* al conjunto de vectores

$x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, ..., x_p, y_p$.

Definición 9. Suponga que M es un número natural y $N = 2M$. Definimos $U: \ell^2(\mathbb{Z}_M) \to \ell^2(\mathbb{Z}_N)$ para z en $\ell^2(\mathbb{Z}_M)$ como:

$$(U(z))(n) = \begin{cases} z(n/2) & \text{si n } es\ par \\ 0 & \text{si n } es\ impar. \end{cases}$$

Resultados

Se toma en cuenta que el error del sistema es un vector de datos el cual es comparado con la entrada del sistema, esto da el sentido de retroalimentación. Primero tomaremos (2) la cual nos da la solución de nuestro

sistema (1). Para ello al controlador lo abordaremos desde el punto de vista de la base *wavelet*, para este fin necesitaremos un vector de muestreo, llamémosle e_m en $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$ donde $N = 2^p$ con $p \geq 2$. Si se quiere usar la teoría de filtros es necesario que y tenga dimensión $n_1 = 2^k$ con $p \geq k$. Usando la p-ésima etapa del filtro de secuencias *wavelet* como en la *Definición 8* para e_m, tendremos que:

$$\alpha_1 = D(e_m * \tilde{v}_1) \text{ y } \beta_1 = D(e_m * u_1) \text{ son elementos } \ell^2(\mathbb{Z}_{N/2})$$

así mismo $\alpha_2, \beta_2, \alpha_3, \beta_3, ..., \alpha_p, \beta_p$ se obtienen con

$$\alpha_l = D(\alpha_{l-1} * \tilde{v}_l) \text{ y } \beta_l = D(\alpha_{l-1} * u_l) \text{ que son elementos de } \ell^2(\mathbb{Z}_{n/2^l}).$$

Nosotros definiremos nuestro controlador en términos de α_l y β_l como

$$u_m = \sum_{l=1}^{p} \left(k_{\alpha l} U^l(\alpha_l) + k_{\beta l} U^l(\beta_l) \right) \tag{5}$$

donde $\{k_{\alpha l}\}_{l=1}^{p}$ y $\{k_{\alpha l}\}_{l=1}^{p}$ son números complejos, la acción de obtener estos valores se llama sintonización del controlador.

El siguiente lema debe ser bien conocido pero no se localizó en textos clásicos de *wavelet* como en [2].

Lema 1. Sean a y b dos elementos de $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$ entonces

$$\|a * b\|^2 \leq N \|a\|^2 \|b\|^2.$$

Demostración. Por definición de norma

$$\|a * b\|^2 = \sum_{k=0}^{N-1} |(a * b)(k)|^2.$$

Si se sustituye $c(n) = a(m-n)$ y $d(n) = \overline{b(n)}$, aplicando la desigualdad del triángulo y la desigualdad de Cauchy-Schwarz se tiene que:

$$\begin{aligned} |(a * b)(m)| &= \left| \sum_{n=0}^{N-1} a(m-n) b(n) \right| = \left| \sum_{n=0}^{N-1} c(n) d(n) \right| \\ &\leq |\langle c, d \rangle|^2 \leq \|c\|^2 \|d\|^2 = \|a\|^2 \|b\|^2. \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$\|a * b\|^2 = \sum_{k=0}^{N-1} |(a * b)(k)|^2 \leq N \|a\|^2 \|b\|^2 . \blacksquare$$

Definición 10. Decimos que una transformación lineal, $T := \ell^2(\mathbb{Z}_N) \to \ell^2(\mathbb{Z}_N)$ es una contracción si y solo si existe una constante positiva $\delta < 1$ tal que para todo x en $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$ se tiene

$$\|T(x)\| \leq \delta \|x\|.$$

Para deducir condiciones que garanticen la estabilidad del controlador, se ha tenido como objetivo usar únicamente las propiedades de las *wavelet* y las normas de vectores $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$. Esto condujo al siguiente teorema, el cual, a criterio de los autores, se trata de un resultado original.

Teorema 1. Si tenemos un sistema dado por (1) cuyo controlador es (6) y suponemos que Φ es una contracción, entonces el controlador es asintóticamente estable.

Demostración. Para demostrar el teorema verificaremos que para cualquier $\varepsilon > 0$ existe M en los naturales tal que para toda $m > M$ se cumple que:

$$\|e_{m+1} - e_m\| < \varepsilon, \tag{6}$$

con $e_m = y(m-1) - y_{ref}$ y $e_{m+1} = y(m) - y_{ref}$

$$\begin{aligned}\|e_{m+1} - e_m\| &= \|y(m) - y_{ref} - y(m-1) + y_{ref}\| = \|Cx(m) - Cy(m-1)\| = \|C\left(x(m) - x(m-1)\right)\| \\ &= \|C\left(\Phi x(m-1) + \Gamma u_{m-1} - x(m-1)\right)\| = \|C\left(\Phi - I\right)x(m-1) + C\Gamma u_{m-1}\|.\end{aligned}$$

Por la desigualdad del triángulo tendremos

$$\|e_{m+1} - e_m\| \le \|C\left(\Phi - I\right)x(m-1)\| + \|C\Gamma u_{m-1}\|. \tag{7}$$

Trabajaremos por separado los dos sumandos del lado derecho de (8).
Para facilitar la demostración vamos a suponer que las normas de los vectores $\tilde{u}_l$ y $\tilde{v}_l$ para cada $l = 1, 2, ..., p$ sean iguales a 1. Note además que la norma de e_m es finita por definición del espacio $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$. Por la linealidad del producto de matrices con respecto a los vectores y los escalares y la desigualdad del triángulo se tiene que:

$$\|C\Gamma u_{m-1}\| = \left\|C\Gamma \sum_{l=1}^{p}\left(k_{\alpha l}U^l(\alpha_l) + k_{\beta l}U^l(\beta_l)\right)\right\|$$

$$\le \sum_{l=1}^{p}\left(\left\|k_{\alpha l}C\Gamma U^l(\alpha_l)\right\| + \left\|k_{\beta l}C\Gamma U^l(\beta_l)\right\|\right)\cdot$$

Aplicando la propiedades de la norma, además del *lema 1,* usando el hecho de que α_l y β_l fueron construidos de manera recursiva y que $\|C\Gamma x\| \le \|C\Gamma\|\|x\|$, tendremos que

$$\|C\Gamma u_{m-1}\| \le \sum_{l=1}^{p}\left(|k_{\alpha l}|\|C\Gamma\|\|U^l(\alpha_l)\| + |k_{\beta l}|\|C\Gamma\|\|U^l(\beta_l)\|\right) \tag{8}$$

Ahora trabajaremos con $\|U^l(\alpha_l)\|$ y $\|U^l(\beta_l)\|$

$$\|U^l(\alpha_l)\| = \|\alpha_l\| = \|D\left(e_m * v_l\right)\| \le \|e_m * v_l\| \le \sqrt{N}\,\|e_m\|\|v_l\| = \sqrt{N}\,\|e_m\|$$

Análogamente $\|U^l(\beta_l)\| \le \sqrt{N}\,\|e_m\|$. Substituyendo:

$$\|C\Gamma u_{m-1}\| \le \sum_{l=1}^{p}\left(|k_{\alpha l}|\|C\Gamma\|N^{1/2}\|e_m\| + |k_{\beta l}|\|C\Gamma\|N^{l/2}\|e_m\|\right) = \sum_{l=1}^{p}\|C\Gamma\|N^{l/2}\|e_m\|\left(|k_{\alpha l}| + |k_{\beta l}|\right) \tag{9}$$

Ahora trabajaremos con el primer sumando de (8). Recordando que C es lineal, a su vez es Lipschitz con $\delta_1 = \|C\|$. Por otro lado como Φ es una contracción entonces $\Phi - I$ es Lipschitz, por lo que existe δ_2 tal que:

$$\|Cz\| < \delta_1\|z\| \text{ y } \|\left(\Phi - I\right)z\| < \delta_2\|z\|.$$

Usando las propiedades recursivas de $x(m+1)$ podemos ver que

$$x(m+1) = \Phi^{m+1}x(0) + \sum_{k=0}^{m}\Phi^k\Gamma u_{m-k}\,.$$

Entonces tendremos que:

$$C(\Phi - I)x(m-1) = C(\Phi - I)\left[\Phi^{m-1}x(0) + \sum_{k=0}^{m-2}\Phi^k\Gamma u_{m-2-k}\right] = C\Phi^{m-1}(\Phi - I)x(0) + \sum_{k=0}^{m-2}C\Phi^k(\Phi - I)\Gamma u_{m-2-k}.$$

Por lo tanto al tomar normas y usando la desigualdad del triángulo obtenemos que:

$$\|C(\Phi - I)x(m-1)\| \le \|C\Phi^{m-1}(\Phi - I)x(0)\| + \sum_{k=0}^{m-2}\|C\Phi^k(\Phi - I)\Gamma u_{m-2-k}\|.$$

Como Φ es una contracción tenemos que existe una constate positiva $\rho > 1$ tal que para toda z elemento de $\ell^2(\mathbb{Z}_N)$ tenemos que:

$$\|\Phi z\| \leq \rho \|z\|.$$

Por otro lado, dado $\varepsilon_1 > 0$, podemos encontrar una m suficientemente grande tal que $\rho^{m-1} < \varepsilon_1 \Big/ 2\delta_1\delta_2 \|x(0)\|$

Pediremos que para cada k que pertenece a $\{0,1,..,m-2\}$ se tenga que

$$\|\Gamma u_{m-2-k}\| \leq \frac{\varepsilon_1}{\delta_1\delta_2\rho^k 3^{k+1}},$$

y esto es posible, ya que u_{m-2-k} es el controlador y es sintonizado por el desarrollador. Por lo tanto al substituir obtenemos:

$$\|C(\Phi - I)x(m-1)\| \leq \delta_1\delta_2\rho^{m-1}\|x(0)\| + \delta_1\delta_2 \sum_{k=0}^{m-2} \rho^k \|\Gamma u_{m-2-k}\| < \frac{\varepsilon_1}{2} + \sum_{k=0}^{m-2} \frac{\varepsilon_1}{3^{k+1}} < \varepsilon_1. \tag{10}$$

Nuestro problema se ha reducido a dar valores que sean de nuestra conveniencia, es decir a acotar los valores de $k_{\alpha l}$ y $k_{\beta l}$ para $l = 1,2,..,p$ tales que (7) se cumpla. Estos valores serán:

$$|k_{\alpha l}| \leq \frac{\varepsilon}{N^{1/2}\|e_m\|\|C\Gamma\|6^l} \text{ y } |k_{\beta l}| \leq \frac{\varepsilon}{N^{1/2}\|e_m\|\|C\Gamma\|6^l}. \tag{11}$$

Remplazado los valores de (11) y (10) en (8) así como $\varepsilon_1 = \varepsilon/2$ al igual que los valores de (12), se obtiene lo siguiente:

$$\|e_{m+1} - e_m\| \leq \varepsilon_1 + \sum_{l=1}^{p} \|C\Gamma\| N^{l/2} \|e_m\| \left(|k_{\alpha l}| + |k_{\beta l}|\right) \leq \frac{\varepsilon}{2} + \sum_{l=1}^{p} \left(\frac{\varepsilon}{6^l} + \frac{\varepsilon}{6^l}\right) < \frac{\varepsilon}{2} + \frac{2\varepsilon}{5} < \varepsilon. \blacksquare$$

Conclusión

En este trabajo de investigación se dan condiciones teóricas para que un controlador PID *wavelet* produzca la estabilidad de un sistema sin la necesidad de buscar una función de Lyapunov. Algunas simulaciones se han comenzado a realizar con resultados alentadores, dichos resultados experimentales obtenidos son preliminares y forman parte de un trabajo en progreso [5]. Una propuesta para el seguimiento de la investigación sería utilizar los resultados de la experimentación para observar que nuestro método llega a la señal de referencia o dar condiciones para que esto ocurra. Otra propuesta es poder continuar este trabajo para sistemas que sean no lineales y robustos.

Referencias

[1] Smith J. *Modeling and Digital Simulation for Engineers* and Scientists. *Part I: Mathematical Modeling Preliminaries*. 1987. Smith JM. pp 147-149.

[2] Fraizer W. *An Introduction to Wavelets Through Linear Algebra 1999.* Springer.

[3] Park *C.* & Tsiotras P, "Approximations to Optimal Feedback Control Using a Successive Wavelet Collocation Algorithm", *Proceedings of the American Control Conference Denver*, Colorado June 4-6, 2003.

[4] Park *C.* & Tsiotras P, "Sub-optimal Feedback Control Using a Successive Wavelet-Galerkin Algorithm", *Proceedings of the American Control Conference Denver*, Colorado June 4-6, 2003.

[5] Itzá-Ortiz B., Ramos-Velasco L., Roldán-Rubio H., Cruz-Tolentino A., "Stability Analysis for a PID Wavelet Controller", Trabajo en progreso.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 30. Volumen 4(3), 4 páginas.

ESTUDIO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN HUESO DESCALCIFICADO, COMO MÉTODO DE VALIDACIÓN PARA LA ESTIMULACIÓN DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

María de Lourdes Cortés Ibarra[1], José Antonio Mondragón Herrera[1], Fernando Navarro Gil[1], Adriana S. Rodríguez Gasca[1], Jovanni Salazar Peralta[1]

Resumen

La técnica de radiación electromagnética no ionizante, además de ayudar a fijar las partículas de hidroxiapatita en los huesos, está apoyando el proceso de rehabilitación después de haber sufrido alguna fractura. No obstante poco se ha investigado acerca de las posibles aplicaciones de los nanos cristales de hidroxiapatita con fines diferentes a la consolidación ósea. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de la difracción de Rayos X obtenidos en la caracterización de muestras de hueso largo como es el fémur de rata cepa Wistar con diferentes concentraciones de hidroxiapatita. Los análisis realizados mediante difracción de Rayos X revelan un comportamiento decreciente en la zona amorfa que va de $2\theta = 10$ º a $2\theta = 25$ º. Basados en los resultados, proporcionan un factor comparativo importante en el proceso de descalcificación, ya que dos muestras aparentemente diferentes espectros de difracción de rayos X muy parecidos. La técnica da evidencia palpable del proceso de remodelación ósea.

Palabras clave: Difracción**,** Estimulación**,** Hidroxiapatita**,** Radiación.

Summary

The technique of non-ionizing electromagnetic radiation, as well as help set the particles of hydroxyapatite in bone, is supporting the rehabilitation process after suffering a fracture. However little has been investigated on possible applications of nano crystals of hydroxyapatite for purposes other than bone healing. This paper presents the results of X-ray diffraction obtained in the characterization of samples of long bone like the femur of Wistar rats with different concentrations of hydroxyapatite. Analyses by X-ray diffraction revealed a decreasing behavior in the amorphous region far $2\theta = 10$ ° to $2\theta = 25$ °. Based on the results, provide an important comparative factor in the process of decalcification, as two seemingly different spectra of samples X-ray diffraction very similar. The technique gives tangible evidence of the bone remodeling process.

Keywords: Diffraction, Stimulation, Hydroxyapatite, Radiation.

Introducción

La tendencia a crear nano materiales por métodos amigables con el medio ambiente es cada vez más frecuente. Dentro de los biomateriales de interés se encuentra la hidroxiapatita, debido a su potencial aplicación en implantes.

La Hidroxiapatita, con gran similitud físico química al tejido óseo, se comporta como una estructura osteoconductiva que permite ser invadida por tejido conectivo proveniente del hueso circundante para posteriormente osificarse, manteniendo en su interior las características de su origen.

La hidroxiapatita procedente de animales, ya es aplicada y comercializada como biomaterial avanzado, por lo que su estudio y obtención están fuertemente motivadas. Al ser la hidroxiapatita el principal componente del esqueleto humano, es de particular interés enfocar esfuerzos en mantener este componente presente en la estructura ósea de los seres humanos a fin de evitar o retrasar efectos causados por afecciones como la osteoporosis.

[1] Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional. Av. Acueducto s/n, Col. Barrio La laguna Ticomán C.P. 07340, México, D.F. Teléfono 57 29 60 00 EXT. 56334. E-mails: mcortesi@ipn.mx, ptah_fer@hotmail.com, carlos15_divino@hotmail.com, adripxs@hotmail.com, mvzantoniomondragon@hotmail.com, jovanni_salazar1@hotmail.com

Una técnica propuesta para evitar la descalcificación, consiste en la irradiación de campos electromagnéticos de baja frecuencia, la cual ha demostrado buenos resultados.

No obstante que algunos estudios demuestran la estrecha relación entre la macro y micro escala, poco se ha investigado acerca de los efectos de los campos electromagnéticos sobre las propiedades microscópicas, lo cual limita la efectividad de dicha técnicas. En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos de la caracterización mediante la técnica de difracción de rayos X de huesos pertenecientes a ratas tipo Wistar sometidas a diferentes procesos.

La difracción de rayos X es uno de los fenómenos físicos que se producen al interaccionar un haz de rayos X, de una determinada longitud de onda, con una sustancia cristalina. La difracción de rayos X se basa en la dispersión coherente del haz de rayos X por parte de la materia (se mantiene la longitud de onda de la radiación) y en la interferencia constructiva de las ondas que están en fase y que se dispersan en determinadas direcciones del espacio. El fenómeno de la difracción puede describirse con la *Ley de Bragg*, que predice la dirección en la que se da interferencia constructiva entre haces de rayos X dispersados coherentemente por un cristal:

$$n\lambda = 2d\ sen\ (\theta) \qquad (1)$$

donde n - número entero.

λ - longitud de onda de rayos X.

d - distancia entre los planos de red cristalina.

θ - ángulo entre los rayos incidentes y los planos de dispersión.

Metodología

Las muestras fueron obtenidas de tres muestra representativas de ratas tipo Wistar de 20 semanas de edad y con un peso entre 300 y 350 g sometidas a diferentes tratamientos; FEM 1 corresponde al grupo de referencia (sin cirugía, ni tratamiento); el grupo FEM 2 que corresponde al grupo Sham más tratamiento electromagnético y el FEM 3 que corresponde al grupo ovariectomizado e igualmente radiado electromagnéticamente.

Cirugía

Previo a la cirugía, los animales se pesaron con la finalidad de calcular la dosis de anestésico (hidrocloruro de xilacina y ketamina). La cirugía se realizó con la hembra en posición de decúbito dorsal, fijando los cuatro miembros, y posterior rasurado general y la antisepsia del abdomen. Se procedió a la incisión por laparotomía bilateral (1 cm), abarcando piel, tejido celular, músculo cutáneo y peritoneo, localizando posteriormente el cuerno uterino con su ovario correspondiente el cual fue ligado y disecado (FEM3), para finalmente cerrar la cavidad abdominal y en el grupo control (Sham) solo se incidió y cerró la cavidad abdominal (FEM2).

Después de la cirugía fue evaluado el estado posquirurgico de las hembras durante 24 horas. Una vez transcurrido este tiempo se mantuvieron en condiciones de higiene y alimentación a libre demanda.

El sacrificio fue realizado mediante anestesia ligera de éter y dislocación cervical para proceder con la disección de las ratas para obtener los huesos largos del miembro inferior. Los huesos fueron colocados en una solución fisiológica hasta el desprendimiento total del músculo y se dejaron secar por 3 semanas almacenándolo en presencia de silica gel y posteriormente se calcinaron en una mufla a 700ºC.

Todos los procedimientos utilizados para el manejo de animales fueron hechos tomando en cuenta las disposiciones de la Norma Oficial Mexicana (NOM-062-ZOO-1999)

Los difractogramas fueron obtenidos en un difractómetro *A8 Advance Buker* con una geometría *Bragg-Brentano*, con flanco de cobre con una longitud de onda de 1.54 Å. Los espectros de fluorescencia fueron obtenidos a una temperatura de 300 K con una excitación láser de nitrógeno con longitud de onda de 337 nm y tubo fotomultiplicador de la marca *Kamamatsu* [4].

Resultados

En el difractograma de las muestras calcinadas (Figura 1), podemos ver una región amorfa de los 10 a los 20º, en esta región hubo un decremento para el caso de las muestras FEM 2 y FEM 3 permaneciendo en la misma proporción de intensidad.

La primera de ellas (FEM 1), sirve como referencia para el análisis; La segunda (FEM 2) representa al grupo *sham* con la finalidad de someterla al estrés que el proceso de OVX involucra; La tercera (FEM 3) fue sometida al proceso de OVX con el fin de provocar la descalcificación, posteriormente fue irradiada con campos electromagnéticos de un 1 Gauss con pulsos de 70 ms por un periodo de tiempo de 4 semanas.

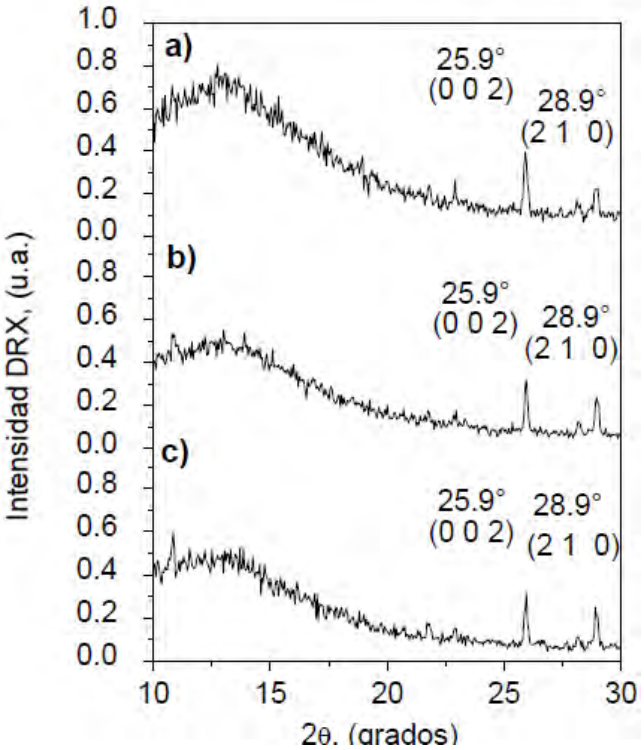


Fig. 1. Difractograma de 10 a 20° de las muestras, a) FEM 1,b) FEM 2 y c) FEM 3, donde se muestra un decremento en la intensidad de la región amorfa

En la Fig. 2 podemos observar que en las tres muestras está presente la hidroxiapatita en la misma proporción, notando que los tamaños de partícula permanecen constantes para las tres muestras. Esto nos da evidencia de la concentración que existe entre la muestra testigo contra las muestras que han sido sometidas a algún tratamiento.

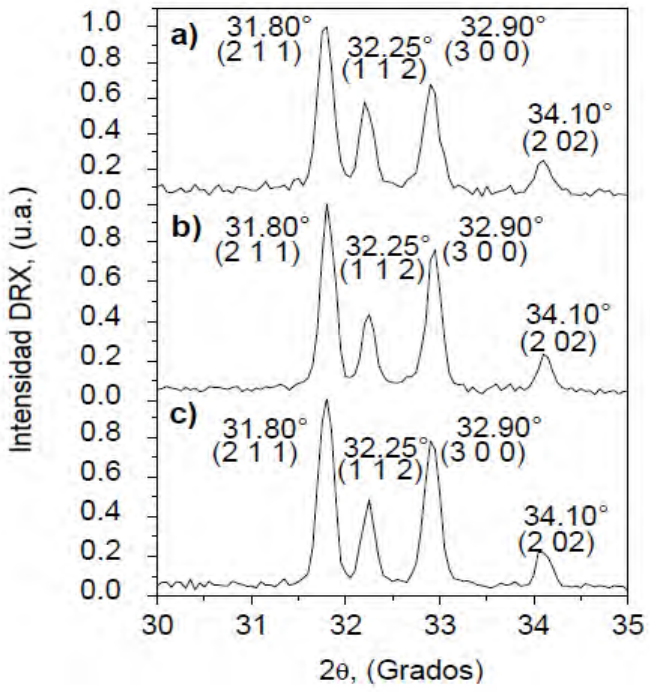


Fig. 2. Difractograma de 30 a 35° de las muestras a) FEM 1, b) FEM 2, c) FEM 3, donde se muestran los picos más significativos de la hidroxiapatita.

Conclusiones

Después de haber realizado los análisis de Difracción de Rx se ha encontrado que la concentración de hidroxiapatita en muestras sanas es mayor en comparación con las muestras que presentan un grado de descalcificación. Resaltamos la hipótesis de que la concentración de hidroxiapatita en hueso descalcificado es menor. Con esta técnica se propone validar la metodología de aplicación ya que la técnica planteada nos da evidencia palpable del proceso de remodelación ósea, del mismo modo abre una nueva aplicación del uso de hidroxiapatita en el campo de los marcadores biológicos.

Referencias

[1] Masakuni Ozawa, Suguru Suzuki. "Fish-Bone Waste trough Heat Treatment". *J. Am. Ceram. Soc*, 85 [5]. (2002). 1315 17

[2] Danilchenko S.N., Moseke C., Sukhodub, L.F., Sulkio-Cleff. "X-ray diffraction studies of bone apatite under acid demineralization". *Cryst Res. Technol.* 39 No. 1. (2004), 71-77

[3] Cortés-Ibarra María de Lourdes ; Urriolagoitia-Calderón Guillermo M. ; Hernández-Gómez Luis Héctor ; Mendoza-López María Luisa ; Rodríguez-García Mario Enrique ; Urriolagoitia Sosa Guillermo. *Rev. Colomb. Biotecnol.* Vol. X, No.2. Diciembre (2008). Pp. 14-22.

[4] De la Rosa J., Bautista F.J. "Optical Properties of Paper at 337.1nm". *Revista Mexica de Física*. 51(1). (2005), 110-1

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 36. Volumen 4(3), 8 páginas

SISTEMA ELECTRÓNICO DE CARACTERIZACIÓN ÓPTICA PARA DISPOSITIVOS ELECTROCRÓMICOS

Jorge Luis Rodríguez Torales[1], Eduardo Morales Sánchez[1], Mónica A. Vidales Hurtado[1], Arturo Mendoza Galván.[2]

Resumen

Los dispositivos electrocrómicos, comúnmente conocidos como ventanas inteligentes, son una alternativa para el control de la luz solar, ya que su principal función consiste en la modulación de luz por medio de la aplicación de un voltaje eléctrico. Debido a la importancia de éstos, el presente trabajo trata sobre la construcción de dispositivos electrocrómicos y la construcción de un sistema electrónico de caracterización óptica (SECO) para esta clase de dispositivos.
Palabras clave: Control de temperatura e iluminación, dispositivos electrocrómicos, ventanas inteligentes.

Summary

Electrochromic devices commonly known as smart windows are an alternative to control sunlight since it´s main function is the modulation of light by applying an electrical voltage. Due to the importance of these electrochromic devices this work is about the construction of an electrochromic device and the construction of an SECO electronic optical characterization for this kind of electrochromic devices.
Keywords: electrochromic devices, smart windows, temperature and lighting control.

Introducción

Los dispositivos electrocrómicos también conocidos como “ventanas inteligentes”, tienen la capacidad de cambiar sus propiedades ópticas cuando se les aplica un voltaje y el estado original se recobra si la polaridad del voltaje es invertida. Los cambios se dan entre un estado transparente con alta transmitancia y un coloreado con elevada absorción o reflexión, dependiendo de los materiales que lo conforman. Un dispositivo electrocrómico está compuesto por los mismos elementos que un sistema electroquímico o una batería recargable, además de que su funcionamiento es similar [1]-[2]. La Fig. 1 muestra ejemplos de ventanas inteligentes electrocrómicas.

Fig. 1. Ejemplo de ventanas inteligentes.

Para conocer y estudiar el comportamiento de esto dispositivos electrocrómicos es necesario obtener datos de la corriente consumida, el voltaje aplicado, el grado de transmisión y el tiempo de memoria, lo cual es posible empleando un sistema electrónico de caracterización óptica (SECO), constituido por un módulo de adquisición de datos conectado por un extremo a la ventana y por el otro a un computadora personal (PC) [3]. La Fig. 2 muestra los componentes del sistema.

[1] Cicata-IPN - Querétaro, [2]Cinvestav - Unidad Querétaro. E-mail: jrodriguezt0903@ipn.mx

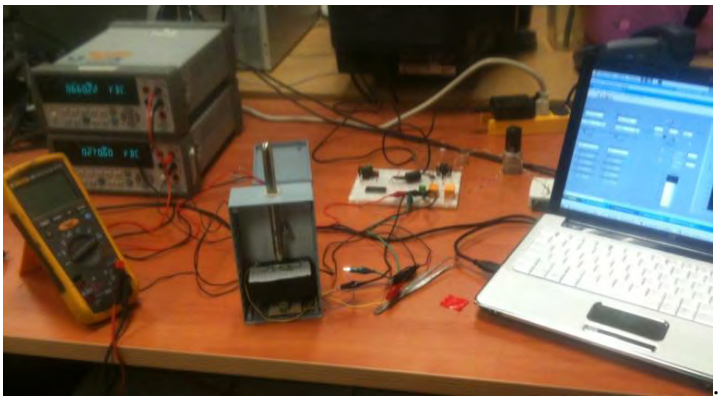


Fig. 2. Dispositivo electrónico de caracterización óptica.

En el presente trabajo se reporta la fabricación de un dispositivo electrocrómico tipo ventana inteligente, así como de un sistema electrónico de caracterización óptica que permite controlar al dispositivo aplicando los voltajes adecuados para su coloración y blanqueado, y al mismo tiempo monitorear y medir la variación de la intensidad de un haz de luz que lo atraviesa. El dispositivo fue fabricado con películas electrocrómicas de óxido-hidróxido de níquel y de óxido de indio dopada con estaño (ITO), como electrodos de trabajo y contrario, respectivamente, con un electrólito semisólido de matriz polimérica. Las propiedades electrocrómicas de las películas de óxido-hidróxido de níquel empleadas han sido reportadas previamente, éstas fueron sometidas a ciclos continuos donde se observó una variación en el porcentaje de transmitancia del 70% al 10 %, en los estados blanqueado y coloreado con voltajes aplicados de -400 mV y 800mV, respectivamente, durante 2 minutos [4]-[5].

Construcción de la "ventana inteligente"

Los dispositivos electrocrómicos están constituidos por una serie de capas de diversos materiales que permiten que se lleve a cabo los cambios de manera reversible al inducir una reacción óxido-reducción cuando se les aplica un pequeño voltaje. Se fabrican siguiendo la arquitectura de las celdas electroquímicas, es decir, están conformados por un ánodo, un cátodo y un electrólito. La Fig. 3 muestra los diversos componentes de un dispositivo electrocrómico. Al aplicar una diferencia de potencial entre ambos electrodos, los electrones del material anódico (NiO) son forzados a moverse a través de un conductor transparente, usualmente una película de óxido de indio dopada con estaño (ITO) depositada sobre vidrio, hacía un circuito externo alcanzando al cátodo (WO_3), por su parte, para mantener la neutralidad eléctrica, iones presentes en el electrólito son forzados a moverse hacia las películas (intercalación) o bien de las películas hacía el electrólito (desintercalación). Al invertir el potencial aplicado, el proceso se revierte llevando a los materiales a su estado original. Este proceso de oxidación-reducción reversible permite que se presenten los cambios ópticos, oscureciendo o aclarando al dispositivo [3]-[7].

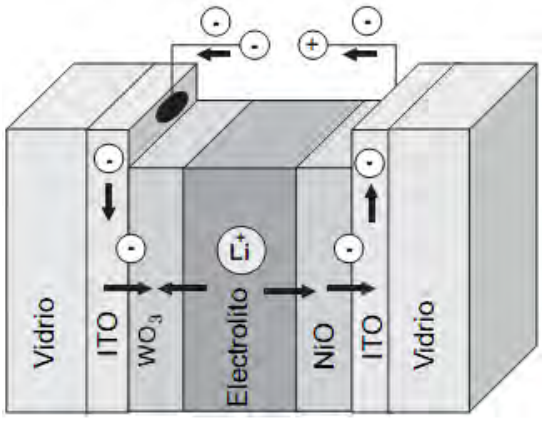


Fig. 3. Arquitectura de un dispositivo electrocrómico.

Para la construcción de los dispositivos, en el presente trabajo se emplearon películas electrocrómicas de óxido níquel depositadas sobre sustratos de ITO, como electrodo de trabajo (ánodo) y como electrodo contrario (cátodo) se empleó una película de ITO, también se utilizó un electrólito semisólido de matriz polimérica elaborado a base de polimetilmetacrilato, propilencarbonato, etilencarbonato y perclorato de litio, que hace la función de conductor iónico.

Las películas de óxido de níquel fueron obtenidas por baño químico siguiendo la técnica reportada por Vidales [8], el electrólito fue depositado sobre esta película por inmersión y posteriormente secado a 60°C, para evaporar los solventes volátiles y obtener la viscosidad adecuada, para realizar el ensamble de manera manual, presionando un electrodo contra otro y eliminando el exceso del gel polimérico. Como contacto hacia el SECO, se utilizó pintura de plata sobre una parte expuesta del ITO.

La Fig. 4 muestran algunos de los dispositivos electrocrómicos construidos, los cuales, han tenido un consumo eléctrico de aproximadamente de 2.5 V, y 2 mA/cm^2. Una característica de los dispositivos electrocrómicos a diferencia de otros usados como ventanas inteligentes, es que tienen efecto de memoria, es decir, si se retira el voltaje aplicado en el estado coloreado, éste permanece así durante un tiempo finito y posteriormente va perdiendo coloración lentamente.

Fig. 4. Dispositivos electrocrómicos.

Diseño y construcción del sistema electrónico de caracterización óptica

Fabricados los dispositivos electrocrómicos se construyó un sistema electrónico de caracterización óptica, este sistema permite realizar un barrido de voltaje o bien aplicar un pulso para llevar a los dispositivos al estado coloreado y al mismo tiempo monitorear sus variaciones ópticas y eléctricas. El sistema mide la transmisión de luz de un láser rojo (635 nm) al variar el voltaje aplicado, las curvas que se obtienen indican el voltaje y la corriente máxima que se puede aplicar a los dispositivos y su tiempo de respuesta. El SECO está diseñado con cinco módulos como se muestra en la Fig. 5. Los módulos son: de PC, de voltaje, de celda, de luz láser, y de adquisición.

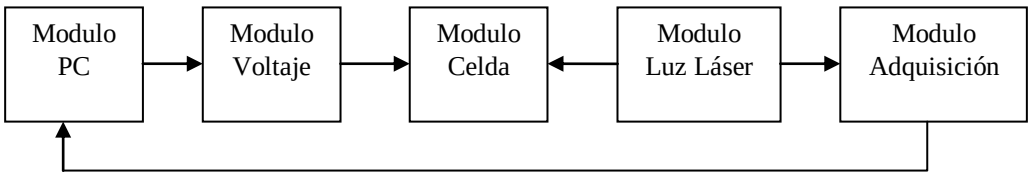


Fig. 5. Módulos del sistema de caracterización óptica.

La función del módulo PC consiste en controlar el voltaje aplicado al dispositivo electrocrómico y guardar los datos obtenidos en el módulo de adquisición para posteriormente graficarlos. Este módulo consiste en la PC y un programa hecho en Labview, mostrado en la Fig. 6, por medio del cual se controla el voltaje aplicado y se reciben los valores de luz transmitida. El programa guarda los valores de voltaje aplicados, la corriente del dispositivo y luz transmitida para su posterior estudio.

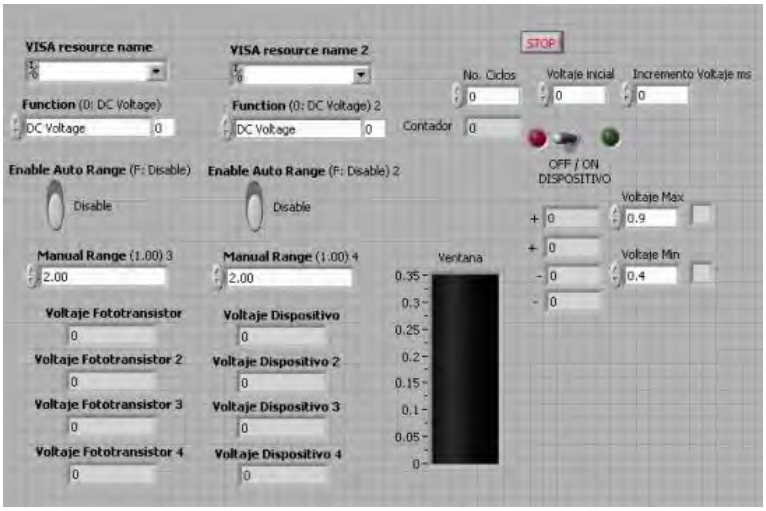


Fig. 6. Programa en LabView de SECO.

El módulo de Voltaje se construyó en base al DAC de 8 bits de una tarjeta de adquisición de datos NI6008 de National Instrument, mostrado en la Fig. 7, que tiene la capacidad de aplicar un voltaje controlado de -10V a +10V DC en incrementos de 20mV a una corriente máxima de 50 mA, su función es aplicar un voltaje de control al dispositivo electrocrómico [3], [9].

Fig. 7. Tarjeta de adquisición de datos NI6008 de National Instrument.

El módulo de la Celda está formado por el dispositivo electrocrómico, Fig. 4, al cual, por medio del módulo de luz láser se le mide la intensidad de luz transmitida conforme se le aplica una diferencia de potencial del módulo de voltaje.

El módulo de Adquisición tiene por función medir el voltaje aplicado, la corriente de consumo y la luz transmitida a través del dispositivo electrocrómico. Este módulo consiste en 2 multímetros de banco marca Agilent 34410A mostrados en la Fig. 8. Un multímetro mide la corriente y el voltaje que se le aplica por medio del módulo de voltaje y el otro mide el voltaje correspondiente a la señal de luz transmitida del módulo luz laser. Los multímetros se comunican al Módulo PC por medio de comunicación USB [10].

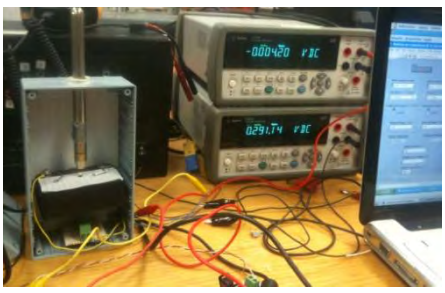


Fig. 8. Multimetros Agilent 34410A utilizados en el SECO.

El módulo Luz laser, mostrado en la Fig. 9 (a), tiene por función aplicar un haz de luz al dispositivo electrocrómico para evaluar los cambios en sus propiedades ópticas, a través de la variación en la intensidad de luz transmitida. Se utilizó un diodo láser de 635 nm, focalizado a 10 mm, mostrado en la Fig. 9 (b), el cual esta posicionado de tal forma que la luz incide de manera normal a la superficie del dispositivo, en la parte inferior se colocó un fototransistor de placa de 7 cm, de spot.

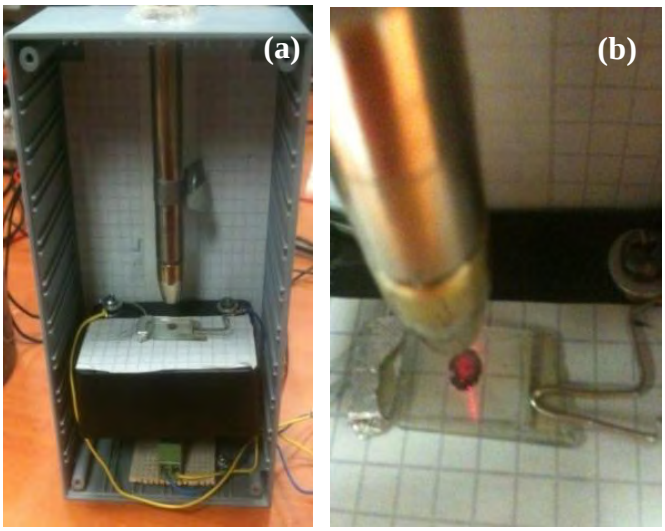


Fig. 9.a) Módulo Luz laser del SECO. b) Luz laser transmitida.

Resultados

La Fig. 10 muestra los estados blanqueado y coloreado del dispositivo electrocrómico cuando se le aplican diferentes voltajes.

Fig.10. Estados blanqueado y coloreado del dispositivoelectrocrómico.

Para observar los cambios en la coloración de manera reversible, se realizaron varios ciclos con una duración de 5 minutos. Se aplicó un barrido de voltaje a una razón de 20 mV/s en forma de rampa, comenzando de 0 V, hasta un máximo de 2.5 V, después se disminuye el potencial a la misma razón, hasta llegar a un mínimo de -400 mV, para posteriormente llevarlo al voltaje inicial 0 V. En la Fig. 11 se muestra la gráfica del voltaje aplicado de acuerdo al tiempo transcurrido durante la prueba.

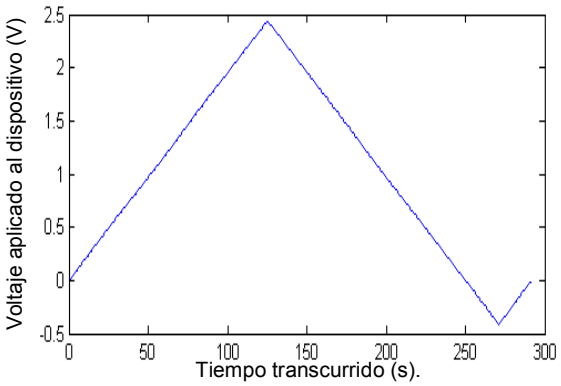


Fig.11.Gráfica del voltaje aplicado vs tiempo.

Para medir la capacidad de transmisión del dispositivo electrocrómico se utilizó un sensor del tipo fototransistor que de acuerdo a la cantidad de luz recibida la transforma en un valor de voltaje que es medido por los equipos de adquisición de datos, al aplicar el voltaje de trabajo. En la Fig. 12, observamos que a partir de los 2.0 V comienza un caída en la transmisión del dispositivo electrocrómico con una pendiente más pronunciada hasta llegar a los 2.5 V, para posteriormente alcanzar el estado blanqueado, con una transparencia cercana a la original. Se observa que existe una histéresis por lo que para regresar al estado inicial es necesario aplicar un voltaje negativo mayor.

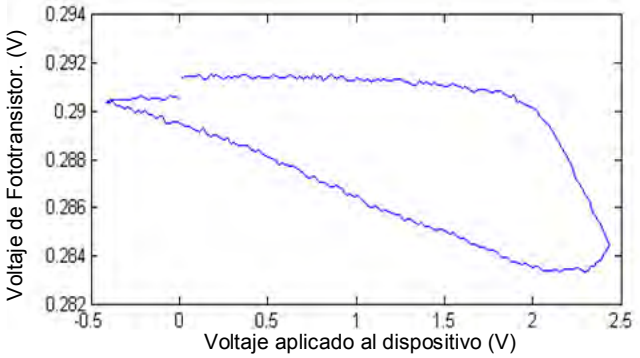


Fig.12.Gráfica de la transmisión medida de acuerdo al voltaje aplicado.

Se realizaron pruebas donde se aplicaron 5 ciclos consecutivos de coloración y blanqueado, en la Fig. 13, se observa que con el incremento en el número de ciclos la transmisión disminuye, es decir, el dispositivo va adquiriendo una mayor coloración, este comportamiento es similar al presentado en películas donde se han identificado tres etapas durante su ciclado: activación, estabilidad y degradación [11]. Este decremento en la transmisiónde luz en el estado coloreado con el número de ciclos está relacionado con la etapa de activación, lo que quiere decir, que es necesario un mayor número de ciclos para que el dispositivo alcance su estado de máxima coloración y llegue a la etapa de estabilización.

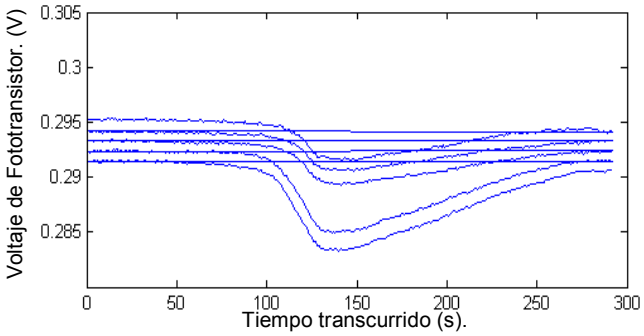


Fig.13.Gráfica de la respuesta del dispositivo en 5 ciclos consecutivos.

Utilizando el mismo arreglo de adquisición de datos, se midió la corriente necesaria para que funcione el dispositivo electrocrómico, el cual se programó con una taza en aumento de 20 mV/s, en forma de rampa, comenzando desde 0 V, hasta un máximo de 2.5 V, después se disminuye el voltaje a la misma razón hasta llegar a un mínimo de -1.0 V, para posteriormente regresar con la misma razón de cambio al valor inicial de 0 V, En la Fig. 14 se muestra la gráfica de la corriente requerida por el dispositivo electrocrómico conforme transcurre el tiempo de la prueba y el dispositivo va de su estado transparente a su estado más coloreado y viceversa. Se observa que la máxima corriente requerida por el dispositivo durante el ciclo de trabajo es de 1.8 mA, antes de que el voltaje de alimentación comience a disminuir y llevando al dispositivo a su estado transparente inicial.

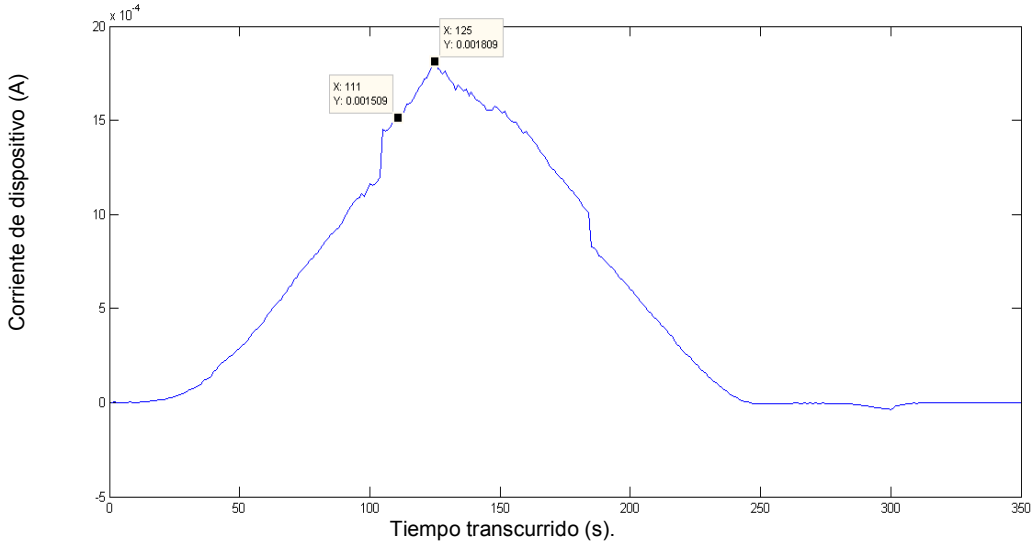


Fig.14.Gráfica de la corriente requerida por la ventana para llevarla a su estado coloreado.

La Fig. 15 muestra la curva V vs I del dispositivo electrocrómico. Se observa que se tiene un comportamiento lineal desfasado característico de un material semiconductor. Esto indica que el comportamiento del dispositivo electrocrómico es el de una resistencia fija con un valor de 150 Ω, aproximadamente en polarización directa pero en polarización inversa solo existe una corriente de fuga.

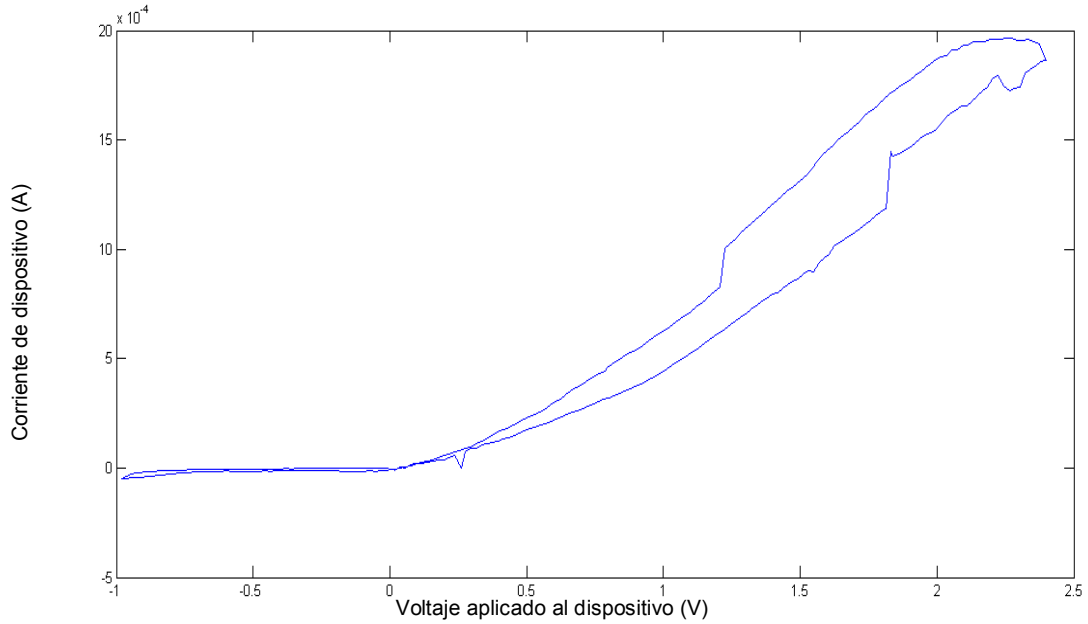


Fig.15.Gráfica del voltaje aplicado y la corriente requerida por el dispositivo electrocrómico.

Conclusiones

El dispositivo electrocrómico fabricado con películas de óxido-hidróxido como electrodo de trabajo y un electrólito semisólido de matriz polimérica con perclorato de litio, muestra cambios reversibles en sus propiedades ópticas al aplicar diferentes voltajes.

La técnica de ensamble no permite tener un control sobre el espesor de la película semisólida del electrólito, esto afecta la reproducibilidad en los cambios ópticos mostrados por diferentes ensambles.

El sistema electrónico de caracterización óptica SECO basado en luz laser, permite tener un control de potencial eléctrico aplicado sobre el dispositivo electrocrómico y al mismo tiempo obtener datos de la variación en la transmisión de luz, relacionado con los cambios de las propiedades ópticas (transmitancia) y eléctricas del dispositivo.

A partir de los datos obtenidos con el sistema SECO, se determinó que el voltaje máximo que puede ser aplicado al dispositivo es de 2.5 V, con una corriente máxima de 2 mA, a voltajes mayores el electrólito es degradado.

Con el voltaje aplicado de 2.5 V, se logra un estado apreciable en la coloración.

Los datos obtenidos permitirán establecer las especificaciones para que en el futuro se pueda construir un controlador de iluminación basado en los dispositivos electrocrómicos aquí presentados.

Se realizarán pruebas colocando pulsos constantes de voltaje con valores menores a 2.5, por periodos de tiempos prolongados para conocer la respuesta del dispositivo y se medirá el tiempo del efecto de memoria a diferentes coloraciones.

Se realizarán mejoras al SECO para hacerlo más completo y funcional.

Referencias

[1] Monk P. M. S. Mortimer R. J. Rosseinsky D. R. *Electrochromism: Fundamentals and Applications*. 1995. Cambridge. New York. 216. pp. 1-115.

[2] Monk P. M. S. Mortimer R. J. Rosseinsky D. R. *Electrochromism and electrochromic devices*. 2007. Cambridge. New York. 487. pp. 1-122.

[3] Serway R. *Electricidad y magnetismo*. 6ta. Edición. 2005. Thomson. México. pp. 33-77.

[4] Vidales Hurtado M. A. Mendoza Galván A. "Electrochromic Nickel Hydroxide Thin Films Chemically Deposited". *Materials Research Society.* Vol. 972. 2007.

[5] Vidales Hurtado M. A. Mendoza Galván A. "Optical and structural characterization of nickel oxide-based thin films obtained by chemical bath deposition". *Materials Chemistry and Physics*. Vol. 107. 2008. pp. 33-38.

[6] Rodríguez L. Barbosa P. C. Silva M. M. "Application of hybrid materials in solid-state electrochromic devices". *Optical Materials*, Vol. 31. 2009. pp. 1467–1471.

[7] Georg A, Georg A. "Electrochromic device with a redox electrolyte". *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 93. 2009. pp. 1329-1337.

[8] Vidales Hurtado M. A. Mendoza Galván A. "Electrochromism in nickel oxide-based thin films obtained by chemical bath deposition" *Solid State Ionics* Vol. 179. 2008. pp. 2065-2068.

[9] National Instruments (Abril 2011) http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201986.

[10] Agilent Technologies (Marzo 2011) http://www.home.agilent.com/agilent/product.jspx?pn=34410A&cc=MX&lc=eng

[11] Bouessay I. Rougier A. Poizot P. Moscovici J. Michalowicz A. Tarascon J. M. "Electrochromic degradation in nickel oxide thin films a self-discharge and dissolution phenomenon". *Electrochimica Acta.* Vol. 50. 2005. pp. 3737-3745.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 45. Volumen 4(3), 5 páginas.

TRES TOPOLOGÍAS ELECTRÓNICAS DEL MAPEO CASA DE CAMPAÑA

Isaac Campos-Cantón[1]*, Ernesto Castellanos-Velasco[1], César Jiménez-Calvillo[2]

Resumen

Se realiza de forma experimental la instrumentación electrónica de tres circuitos que les hemos denominado circuitos Casa de Campaña. Si de estos circuitos se grafica el potencial a la salida contra el potencial a la entrada del circuito electrónico, se observan los mismos comportamientos que corresponden a la función matemática conocida como mapeo Casa de Campaña. Para el diseño de los tres circuitos, sólo se usan amplificadores operacionales, diodos y resistencias. Los resultados obtenidos experimentalmente, se muestran acorde con los teóricos para este tipo de mapa en una dimensión.
Palabras clave: sistemas dinámicos, mapas caóticos, amplificadores operacionales, teoría de circuitos.

Abstract

In this paper are shown three different kind of microelectronic circuits, that we have called tent map circuits. From the transfer behavior between the output and the input voltage, it is possible to obtain an electric realization of the tent map function. These circuits use only operational amplifiers, diodes and passive resistances. The experimental results show to be similar with theoretical ones of the one dimension chaotic map.
Keywords: Chaotic Maps, Dynamis Systems, Operational Amplifier, Circuit Theory.

Introducción

Recientemente, con el desarrollo continuo de la teoría del caos, varios algoritmos de encriptación basados sobre estos sistemas están continuamente desarrollándose, se fundamentan en el uso de las trayectorias caóticas ya que son pseudoaleatorias, sensibles a las condiciones iniciales, propiedades de ergodicidad y mezclado [1].

Muchos de los sistemas dinámicos no lineales discretos se estudian a partir de utilizar los mapeos en una dimensión, y en este sentido, una de las funciones de iteración más simples es el mapeo conocido como Casa de Campaña [2] descrito por la siguiente ecuación:

$$x_{n+1} = \begin{cases} \mu x_n & para\ x_n < \frac{1}{2}, \\ \mu(1-x_n) & para\ \frac{1}{2} \leq x_n, \end{cases} \quad (1)$$

Este mapeo sirve de base en la generación de números pseudoaleatorios [3] y como herramienta para la encriptación de datos [4]. Por ejemplo, en [5] se muestra la forma de realizar un generador de claves usando los principios del caos, producto de iterar este mapeo. Así, durante los últimos años, este tipo de mapeos se trata de implementar de forma experimental y, en este sentido poder cristalizar los desarrollos teóricos en una aplicación de ingeniería. Por ejemplo, en [6] se presenta una realización electrónica sencilla del mapeo Casa de Campaña, y en [7] se propone un esquema de comunicación segura de forma opto-electrónica, usando el mapeo logístico y modulación por posición de pulso.

[1] Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Alvaro Obregón 64, 78000. E-mail: icampos@fciencias.uaslp.mx
[2] Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí. Carretera 57, 6510, San Luis Potosí, S.L.P., México.

Las diferentes topologías electrónicas implementadas en este artículo se fundamentan en la filosofía de diseño desarrollada en [6]. A continuación, se describe brevemente la estructura del presente trabajo: en la siguiente sección se muestra de forma teórica cómo se obtienen los diferentes circuitos denominados *Casa de Campana* y las restricciones que se deben cumplir, luego se dan los resultados experimentales y, para finalizar se dan las conclusiones.

Implementación

La Fig. 1a muestra la gráfica de los puntos obtenidos del mapeo Casa de Campaña a partir de la Ec. (1), donde $x_n = \in [0,1]$ y $\mu \in [1,2]$ cual es el parámetro de bifurcación que controla las propiedades del mapeo. En forma general, cualquier mapeo en una dimensión diseñado electrónicamente se puede instrumentar como se muestra en la Fig. 1b, donde se observa, como se realiza la operación de iteración a través del uso de interruptores activados por una señal de reloj, estos se encienden de forma alternada para cumplir con el proceso de iteración de datos.

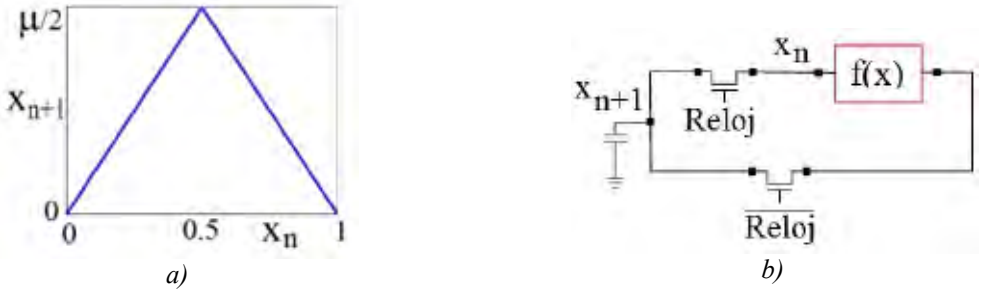


Fig. 1: a) Gráfica de la función mapeo Casa de Campaña. b) Diagrama a bloques del mapeo Casa de Campaña

La forma de diseñar los circuitos electrónicos mapeo *Casa de Campaña* se basa en el diagrama a bloques de la Fig. 2a.

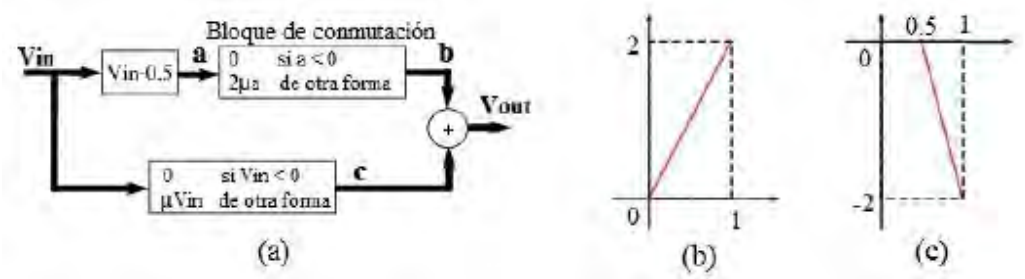


Fig. 2: a) Diagrama interno del mapeo Casa de Campaña. b) Respuesta de la rama inferior del diagrama a bloques. c) Respuesta de la rama superior del diagrama a bloques.

A continuación se presentan los diagramas electrónicos que van a tener un comportamiento acorde a la Ec. (1), y las restricciones que se deben satisfacer.

Casa de campaña 1

Como se puede ver de la Fig. 3, el potencial en el nodo $\boldsymbol{c}$ y el potencial de salida $\boldsymbol{V_{out}}$ son:

$$c = \begin{cases} 0 & para\ b > 0 \\ -\dfrac{R_7R_5R_1}{R_6R_3R_1}Vin + \dfrac{R_7R_5}{R_6R_4}\alpha & para\ a \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$V_{out} = \begin{cases} \dfrac{R_{12}R_2}{R_{10}R_1} & para\ b < 0 \\ \left(\dfrac{R_{12}R_2}{R_{10}R_1} - \dfrac{R_{12}R_9R_7R_5}{R_{11}R_8R_6R_4}\right)V_{in} + \dfrac{R_{12}R_9R_7R_5}{R_{11}R_8R_6R_4}\alpha & para\ b \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

con: $b = \frac{R_5R_2}{R_3R_1}V_{in} - \frac{R_5}{R_4}\ \alpha$

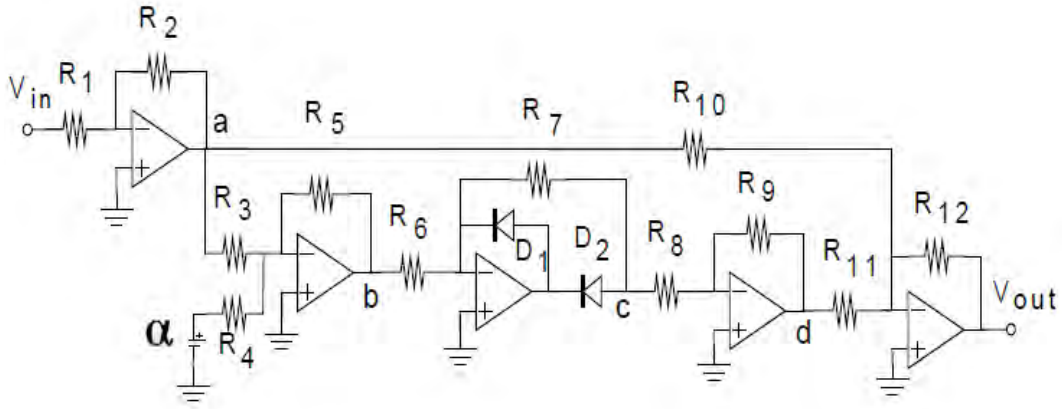


Fig. 3: Diagrama electrónico del circuito Casa de Campaña 1.

Si para el circuito Casa de Campaña 1 (Fig. 3) se sustituyen los valores de las resistencias R_1 a R_{11} con un valor R, excepto $R_3 = R_4 = {}^{R}/_{2}$ y $\alpha = {}^{1}/_{2}$, se tiene que el potencial a la salida es:

$$V_{out} = \begin{cases} \frac{R_{12}}{R} V_{in} & para\ V_{in} < \frac{1}{2} \\ \frac{R_{12}}{R}(1 - V_{in}) & para\ V_{in} \geq \frac{1}{2} \end{cases} \tag{4}$$

y definiendo el parámetro de bifurcación μ como $\mu = \frac{R_{12}}{R}$, $V_{in} = x_n$, y $V_{out} = x_{n+1}$ se encuentra la Ec. (1).

Casa de campaña 2

Al segundo circuito propuesto se le denomina Circuito Casa de Campaña 2 (Fig. 4), donde el potencial en el nodo $\boldsymbol{b}$ y en el de salida $\boldsymbol{V_{out}}$ cumplen las siguientes relaciones:

$$b = \begin{cases} -\frac{R3}{RI} Vin - \frac{R3}{R2} \propto & para\ a > 0 \\ -\left(\frac{R5}{R4} + 1\right)\frac{R3}{R1} Vin - \left(\frac{R5}{R4} + 1\right)\frac{R3}{R2}\alpha & para\ a \leq 0 \end{cases} \tag{5}$$

$$Vout = \begin{cases} \frac{R_9\, R_3}{R_8\, R_1} Vin + \left(\frac{R_9\, R_3}{R_8\, R_1} - \left(\frac{R_9}{R_8} + 1\right)\frac{R_{11}}{R_{10}}\right)\alpha & para\ a > 0 \\ -\frac{R_9}{R_8}\left(-1 + \frac{R_6\, R_5}{R_7\, R_4}\right)\frac{R_3}{R_4} Vin - \left(\frac{R_9}{R_8}\left(-1 + \frac{R_6\, R_5}{R_7\, R_4}\right)\frac{R_3}{R_2} - \left(\frac{R_9}{R_8} + 1\right)\frac{R_{11}}{R_{10}}\right)\alpha & para\ a \leq 0 \end{cases} \tag{6}$$

con $a = -\frac{R3}{R1} Vin - \frac{R3}{R2}\alpha$

De igual forma que en el circuito Casa de Campaña 1 si los valores de las resistencias de $R_{1,2,4,6,7,8,9,10}$ toman un valor de $R, R_5 = 2R, R_3$, un valor por definir, $R_{11} = {}^{R_3}/_{2}$ y $\alpha = -{}^{1}/_{2}$ se tiene que el potencial de salida del circuito V_{out} es:

$$V_{out} = \begin{cases} \frac{R_3}{R} V_{in} & para\ V_{in} < \frac{1}{2} \\ \frac{R_3}{R}(1 - V_{in}) & para\ V_{in} \geq \frac{1}{2} \end{cases} \tag{7}$$

Ahora si se define a $\mu = \frac{R_3}{R}$, $V_{in} = x_n$ y $V_{out} = x_{n+1}$, se encuentra la Ec. (1).

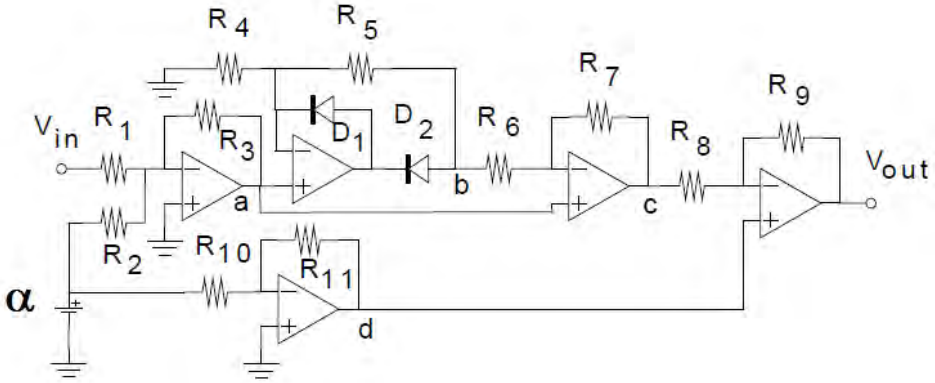


Fig. 4: Diagrama electrónico del circuito Casa de Campaña 2.

Casa de campaña 3

El último circuito denominado Casa de Campaña 3 se muestra en la Fig. 5 y sus potenciales asociados a los nodos $\boldsymbol{a}$ y $\boldsymbol{V_{out}}$ son:

$$a = \begin{cases} 0 & para \ -\frac{R_3}{R_1}Vin - \frac{R_3}{R_2}\alpha \ > \ 0 \\ -\frac{R_3}{R_1}Vin - \frac{R_3}{R_2}\alpha & para \ -\frac{R_3}{R_1}Vin - \frac{R_3}{R_2}\alpha \ \leq \ 0 \end{cases} \tag{8}$$

$$Vout = \frac{R_9 R_7}{R_8 R_5}Vin + \frac{R_9 R_7}{R_8 R_6}a \tag{9}$$

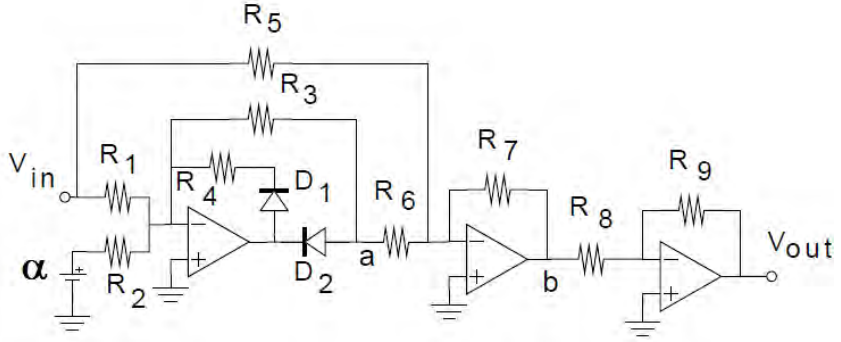


Fig. 5: Diagrama electrónico del circuito Casa de Campaña 3.

Si los valores de las resistencias de $R_{1,2,3,3,6,8,9}$ toman un valor de $R, R_5 = 2R, R_7$ un valor por definir y $\alpha = -1/2$, se tiene que el potencial a la salida del circuito V_{out} es:

$$Vout = \begin{cases} \frac{R_7}{2R}Vin & para \ Vin \ < \frac{1}{2} \\ \frac{R_7}{2R}(1 - Vin) & para \ Vin \ \geq \frac{1}{2} \end{cases} \tag{10}$$

y definiendo a $\mu = \frac{R_7}{2R}$, $V_{in} = x_n$ y $V_{out} = x_{n+1}$, se encuentra nuevamente la Ec. (1).

De esta forma, las Ec. (4), (7) y (10) con sus respectivas restricciones y definiciones, presentan el mismo comportamiento que la ecuación que describe el mapeo Casa de Campaña. A continuación se presentan los resultados experimentales.

Resultados experimentales

Es posible seleccionar diferentes valores de las resistencias de tal forma que se satisfagan las ecuaciones (4), (7) y (10), para tener un comportamiento acorde con los resultados teóricos generados a través de la función matemática en una dimensión denominada mapeo Casa de Campaña. En estos tres circuitos electrónicos se utilizaron los siguientes componentes, para los amplificadores operacionales el TL081, el valor de R fue de $10\ K\Omega$, para los diodos el 1N4148 y para los potenciómetros $R_{5,7,12}$, un valor de $50\ K\Omega$ en los circuitos propuestos 1, 2 y 3 respectivamente. A pesar de no considerar las capacitancias parásitas y otros fenómenos no modelados propios de los semiconductores, el comportamiento de los circuitos es el esperado como se muestra en la Fig. 6

Los circuitos electrónicos se implementaron en tarjeta de circuito impreso construidas en el laboratorio, las fuentes de energía suministran potenciales de corriente directa de $\pm 15\ V$. Y para obtener la dinámica iterativa, ver Fig. 1b, se considera el microcontrolador PIC16F877A, y un convertidor digital analógico DAC0800 con tiempo de procesamiento de $100\ \mu s$ entre muestras de voltaje.

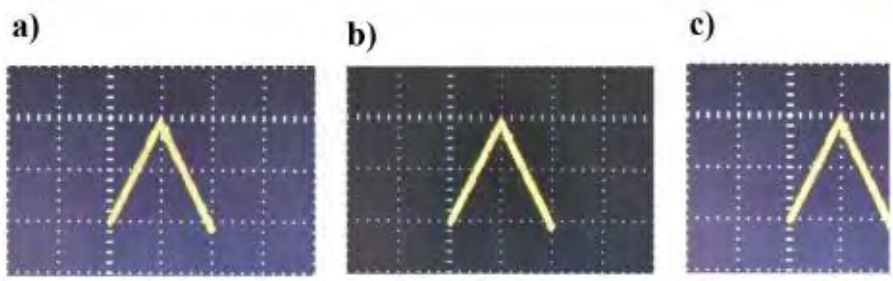


Fig. 6: Diagrama experimental de los tres circuitos denominados mapeo Casa de Campaña. a) Circuito propuesto 1. b) Circuito propuesto 2. c) Circuito propuesto 3.

Conclusiones

Los circuitos electrónicos propuestos son fáciles de implementar, ya que sólo emplean resistencias, amplificadores operacionales y diodos. Como se puede apreciar en la Fig. 6 se muestran las gráficas del voltaje de salida contra el voltaje de entrada de las tres topologías propuestas. Esta figura muestra de forma experimental que con cualquier circuito empleado se obtiene la respuesta correcta cumpliéndose de esta forma el objetivo. Así, las respuestas de los circuitos corresponden al comportamiento que se obtiene de forma teórica del mapeo *Casa de Campaña.* También es de notarse que existe una correspondencia exacta entre el conjunto de ecuaciones obtenidas por leyes de Kirchhoff (4), (7) y (10), y la Ec. (1) proveniente de la función matemática. El circuito Casa de Campaña 3 (5) es el más sencillo debido a que solamente utiliza tres amplificadores operacionales, basados en esta idea, se propone como trabajo futuro desarrollar una topología aún más simple que las mostradas en este trabajo.

Por otro lado, cualquier topología de estos circuitos es un buen principio para introducir a los estudiantes en el área de electrónica en los conceptos básicos de sistemas caóticos, debido a la sencillez de su diseño y construcción.

References

[1] W.Xing-Yuan and W. Lin-Lin. "A New perturbation Method to the Tent Map and its Application". *Chin. Phys. B* 20 (2011) 050509

[2] W. Huang. "On Complete Chaotic Maps with Tent–map-like Structures. *Chaos, Solitons and Fractals* 24 (2005) 287-99.

[3] A. Kanso. Search-based Chaotic Pseudorandom Bit Generator". *Int. J. Bif. and Chaos* 19 (2009) 4227-4235.

[4] N. Masuda and K. Aihara. "Cryptosystems with Discretized Chaotic Maps**"**. *IEEE Transactions on Circuits and Systems. Part I:Regular Papers.* 49 (2002) 28-39.

[5] X. Yi, C. H. Tan and C. K. Siew. "A New Block Cipher Based on Chaotic Tent Maps**"**.*IEEE Transactions on Circuits and Systems. Part I: Regular Papers.* 49 (2002) 1826-1829.

[6] I. Campos-Canón, E. Campos-Cantón, J.S. Murguía and H.C. Rosu. "A simple electronic circuit realization of the tent map". *Chaos, Solitons and Fractals* 42 (2009) 12-16.

[7] N. Singh and A. Sinha. "Chaos-based Secure Communication System Using Logistic Map".*Optics and Lasers in Engineering* 48 (2010) 398-404.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 47. Volumen 4(3), 9 páginas.

INVERSOR DE INYECCIÓN A RED A PARTIR DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES CON FILTRO DE SALIDA LCL

Oscar Carranza Castillo[1], Emilio Figueres Amoros[2], Gabriel Garcera Sanfeliu[2], Rubén Ortega González[1]

Resumen

El presente trabajo presenta el análisis, diseño e implementación de un inversor de inyección a red con u filtro LCL a la salida. Este inversor se implementa para ser utilizado mediante una fuente de energía renovable. La estructura del sistema de control incluye una etapa de sincronización a la red, un lazo de corriente empleando un control de corriente media y el lazo de voltaje de la DC-Link. Para obtener un factor de potencia cercano a la unidad es de gran importancia la etapa de sincronización con la red, ya que permite hacer que la corriente esté en fase con el voltaje. Para el análisis y diseño de los lazos de control se diseña el filtro LCL con los valores adecuados, y se obtiene el modelo a pequeña señal del inversor empleando el modelo del conmutador PWM. Se presentan los resultados experimentales obtenidos cuando se alimenta el inversor de un sistema de generación eólica.

Palabras clave: Controlador P+R, Energías Renovables, Filtro LCL, Inversor.

Abstract

This paper presents the analysis, design and implementation of an inverter with a LCL filter to inject grid. This inverter is implemented to be used by a source of renewable energy. The structure of the control system includes stages synchronization to the grid, a current loop using an average current control and voltage loop of the DC-Link. For a power factor close to unity is very important stage of synchronization with the grid, which allows the current is in phase with the voltage. For the analysis and design of control loops are designing the LCL filter with the proper values, and it obtained the small-signal model of the inverter using the PWM switch model. It presents experimental results obtained when the inverter feeds a wind generation system.

Keywords: Controller P + R, Renewable Energy, LCL Filter, Inverter.

Introducción

En la actualidad las fuentes de energía renovable tienen un gran impacto en la sociedad debido a que son fuentes de energía que no contaminan el medio ambiente, además que el costo del petróleo cada vez es más caro, por lo que afecta el costo de la energía eléctrica, produciendo también una lata polución. Las fuentes de energía renovables que tiene actualmente un gran impacto tanto en la parte comercial como en la de investigación son la fotovoltaica, la eólica, la hidrogeno, entre otras.

En los sistemas de generación estas fuentes de energía pueden entregar la energía eléctrica en forma alterna o de corriente continua, pero generalmente variable, por lo que se requiere una etapa de acondicionamiento para que posteriormente se inyecte le energía a la red. Una vez que se tiene la energía en condiciones de corriente directa se emplea un convertidor de DC/AC para que este proporciones las características adecuadas de voltaje y frecuencia para que la energía se entregue a la red. Dado esta condición, el inversor se encarga de regular el voltaje de la DC-Link, así como de regular la corriente que se inyecta a la red, y que se encuentre en fase con la red. A la salida se le coloca un filtro pasa bajas para eliminar las componentes de la frecuencia de conmutación, típicamente se emplean filtros L, sin embargo, la tendencia es usar filtros LCL que tiene un orden superior, el problema que presentan estos filtros es su

[1] Escuela Superior de Cómputo, Instituto Politécnico Nacional. Av. Juan de Dios Bátiz S/N, D. F., 07738, México. Tel (+52)55-5729-6000, Ext. 52022. E-mails: ocarranzac@ipn.mx, rortegag@ipn.mx .

[2] Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera S/N, 7F, Valencia, 46022, España. Tel. (+34)963879606. E-mails: efiguere@eln.upv.es, ggarcera@eln.upv.es .

frecencia de resonancia que puede producir problemas de estabilidad, por lo que se requiere un diseño de control más delicado [1]-[2].

Estructura del Inversor

El inversor que se implementa es un inversor monofásico con polaridad Bipolar con filtro de salida LCL. La Figura 1 muestra el esquema del Inversor con filtro LCL a la salida y Estructura de control que se implementa. Los elementos del esquema de control son la sincronización con la red basada en un PLL, el control de corriente de la red y el control del voltaje en la DC-Link.

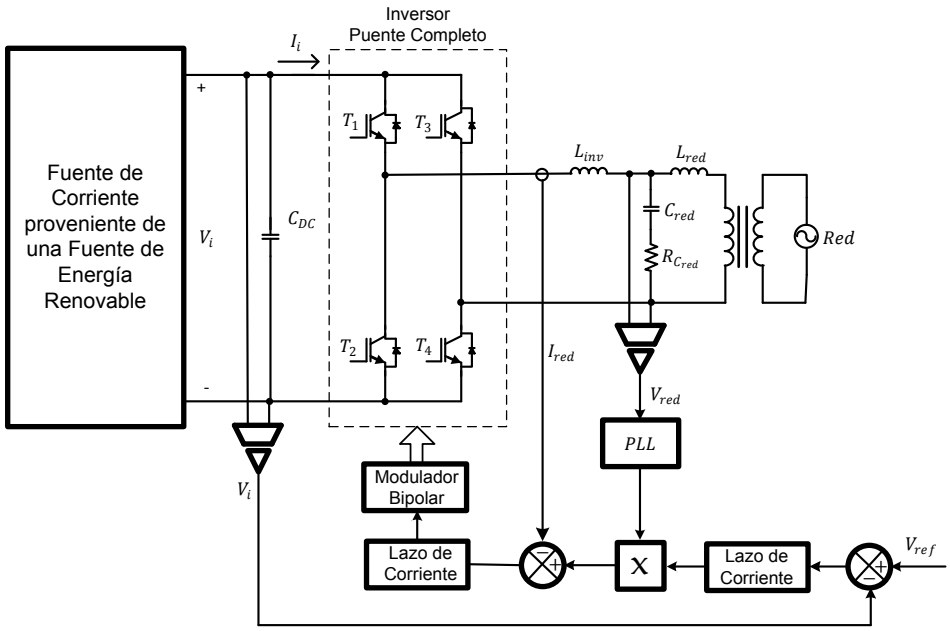


Figura 1. Esquema del Inversor con filtro LCL a la salida y Estructura de control.

Filtro LCL de Salida

Para poder inyectar energía a la red eléctrica es necesario eliminar de la frecuencia de conmutación del inversor, esto se realiza mediante un filtro de salida, en los sistemas comerciales se emplea un filtro LC, sin embargo, en este caso se emplea filtro del tipo LCL para conectar el inversor a la red, el cual permite atenuar más las frecuencias de conmutación. Para interconectar a la red se emplea un transformador de aislamiento de manera de evitar la introducción a la red de una componente de DC.

Para el cálculo del filtro LCL se determina la potencia base (S_{base}), el voltaje base (V_{base}), la corriente base (I_{base}) y la impedancia base (Z_{base}) que se tienen en el filtro, estas variables se calculan mediante (1).

$$S_{base} = S_{nom} = 2\ kVA, \qquad V_{base} = V_{inv} = 414\ V, \qquad I_{base} = \frac{S_{base}}{V_{base}} = 4.8309\ A$$

$$Z_{base} = \frac{{V_{base}}^2}{S_{base}} = 85.698\ \Omega \tag{1}$$

Existen diferentes criterios para establecer los valores de los componentes LCL, en este caso, se siguen los establecidos en [1]-[4], donde para determinar el valor de C_{red}, se establece que la potencia absorbida por el capacitor sea pequeña, por lo que se propone que la corriente en el capacitor sea menor al 5 % de la corriente base, con lo que se tiene

$$I_{C_{red}} = 5\%\ de\ I_{base} \quad \Rightarrow \quad I_{C_{red}} = 0.05\ I_{base} \tag{2}$$

Determinando el Valor de C_{red} se tiene:

$$Z_{C_{red}} = \frac{V_{base}}{0.05\, I_{base}} = \frac{V_{base}}{0.05\, \frac{S_{base}}{V_{base}}} \quad \Rightarrow \quad Z_{C_{red}} = \frac{{V_{base}}^2}{0.05\, S_{base}} = \frac{1}{\omega_{red}\, C_{red}} \tag{3}$$

Despejando el valor de C_{red}, a partir de (3) se obtiene

$$C_{red} < \frac{0.05\, S_{base}}{\omega_{red} {V_{base}}^2} \tag{4}$$

Sustituyendo los valores en (4) se obtiene que $C_{red} < 1.8571\ \mu F$, por lo que se selecciona un valor de $1\mu F$ para C_{red}.

Empleando el mismo criterio para seleccionar el valor de L_{inv}, en el que se desea que la caída de voltaje sea pequeña, con lo que se establece que sea de aproximadamente el 5 % se tiene

$$V_{L_{inv}} = 5\%\ de\ V_{base} \quad \Rightarrow \quad V_{L_{inv}} = 0.05\, V_{base} \tag{5}$$

Determinando el Valor de C_{red} se tiene

$$Z_{L_{inv}} = \frac{0.05 V_{base}}{I_{base}} = \frac{0.05 V_{base}}{\frac{S_{base}}{V_{base}}} \quad \Rightarrow \quad Z_{L_{inv}} = 0.05\, \frac{{V_{base}}^2}{S_{base}} = 0.05 Z_{base} = \omega_{red}\, L_{inv} \tag{6}$$

Despejando el valor de C_{red}, a partir de (6) se obtiene

$$L_{inv} < \frac{0.05\, Z_{base}}{\omega_{red}} \tag{7}$$

Sustituyendo los valores en (7) se obtiene que $L_{inv} < 13.639\ mH$, sin embargo, se selecciona un valor un poco por arriba de este límite, ya que es el valor que la inductancia que se tiene en el Laboratorio, con lo que el valor de L_{inv} es de 15 mH.

Sincronización con Red Eléctrica del mediante un PLL monofásico

Para conseguir un Factor de Potencia (FP) cercano a la unidad se emplea un PLL [5] que permite la sincronización de la corriente de salida del inversor con el voltaje de la red. El PLL proporciona una referencia para generar una corriente senoidal sincronizada con la red, permitiendo obtener un FP cercano a la unidad. La Figura 2 muestra la estructura del PLL para obtener la fase del voltaje de la red. La estructura contiene una etapa que permite crear dos señales en cuadratura, estas señales están referidas en el sistema de referencia estacionario ($\alpha\beta$), dichas señales se crean a partir del voltaje de la red.

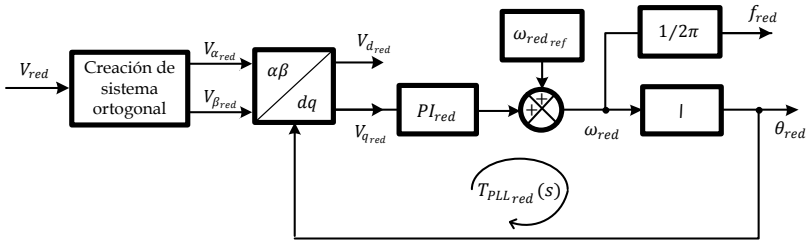


Figura 2. Estructura del PLL monofásico para la sincronización de la corriente de salida del inversor.

La ganancia del Lazo para analizar la estabilidad del PLL está determinada por:

$$T_{PLL_{red}} = V_{d_{red}} \cdot PI_{red} \cdot \frac{1}{s} \tag{8}$$

Donde $V_{d_{red}}$ es la magnitud de la componente-*d* del voltaje de red en el sistema de referencia síncrono, PI_{red} es la función de transferencia de un controlador proporcional-integral simple. El controlador PI_{red} esta diseñado para obtener una frecuencia de corte de la ganancia del lazo menor que $f_{red}/2$, con un margen de fase mayor a 50^0.

La Figura 3 muestra la ganancia del lazo del PLL donde se obtiene un margen de fase de 79.1º y la frecuencia de corte se encuentra a 16.5 Hz. Las ganancias del controlador PI_{red} del PLL con las que se obtiene dicha respuesta son $K_{p_{red}} = 85$ y $K_{i_{red}} = 1700\ rad/s$.

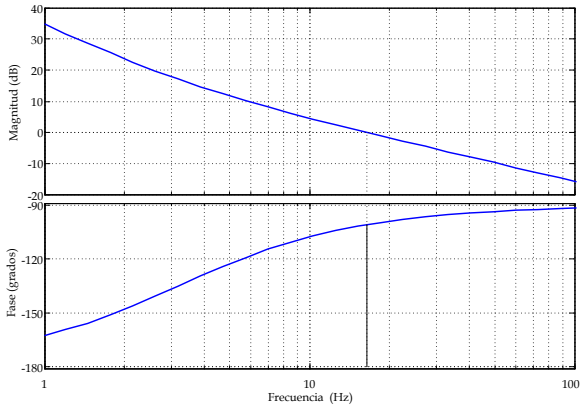


Figura 3. Diagrama de Bode de la función de transferencia de la ganancia del lazo del PLL_{red}

Modelo del Inversor

Para el diseño de los controladores del lazo de corriente de salida y del lazo de voltaje de la DC-Link es necesario conocer el modelo a DC y a pequeña señal que nos permitan realizar un análisis correcto del sistema. El circuito del inversor se puede redistribuir para realizar el modelado, como se muestra en la Figura 4.

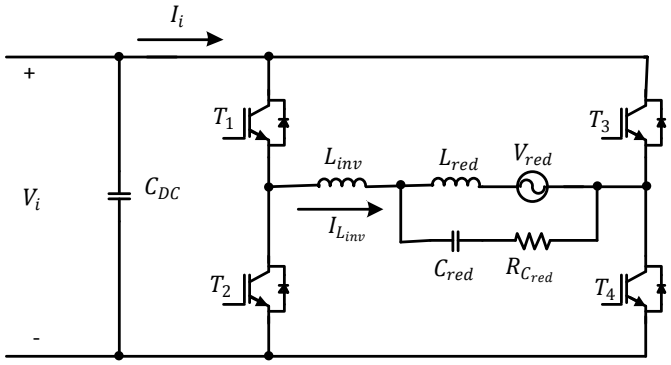


Figura 4. Circuito del Inversor reestructurado para el modelado.

Teniendo en cuenta que se realiza modulación Bipolar, para el tiempo de D_{red} T_1 y T_4 se cierran, mientras T_2 y T_3 permanecen abiertos por lo que en este caso actúan los diodos en antiparalelo del los IGBT. Y para el tiempo $1 - D_{red}$ T_2 y T_3 se cierran, mientras T_1 y T_4 permanecen abiertos por lo que en este caso actúan los diodos en antiparalelo de los IGBT. Sustituyendo la célula de conmutación desarrollada en [6]-[7], en los puntos indicados del circuito de la Figura 4 se obtiene el circuito equivalente PWM en DC del inversor, el cual se muestra en la Figura 5.

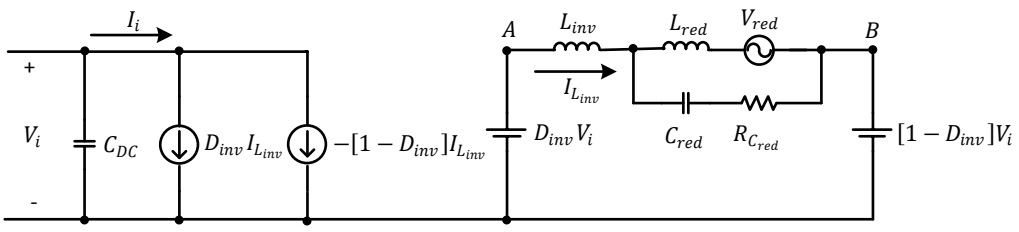


Figura 5. Circuito equivalente PWM del inversor.

Considerando que las variables promediadas se descomponen en términos en el punto de operación y en términos de pequeña señal, se establece que para el caso de $\bar{V}_{AB}$ se obtiene lo expresado en (9) y para $\bar{I}_i$ se obtiene lo expresado en (10).

$$\bar{V}_{AB} = \underbrace{[2D_{inv}-1]V_i}_{Punto\ de\ operación} + \underbrace{[2D_{inv}-1]\hat{v}_i + 2\hat{d}_{inv}V_i}_{Pequeña\ señal} \tag{9}$$

$$\bar{I}_i = \underbrace{[2D_{inv}-1]I_{L_{inv}}}_{Punto\ de\ operacion} + \underbrace{[2D_{inv}-1]\hat{\imath}_{L_{inv}} + 2\hat{d}_{inv}I_{L_{inv}}}_{Pequeña\ señal} \tag{10}$$

En la Figura 6(a) se muestra el circuito del inversor en el punto de operación y en la Figura 6(b) se muestra el circuito del inversor a pequeña señal.

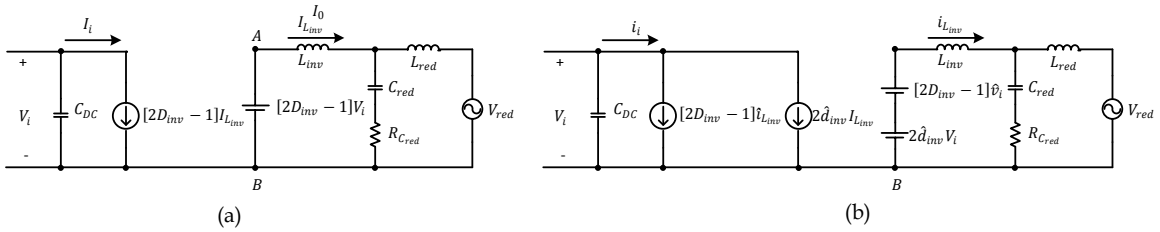


Figura 6. Circuito del inversor (a) punto de operación y (b) a pequeña señal

Lazo de Control de la Corriente de Salida

Para el lazo de Control de la corriente de salida del inversor se propone una estructura de control modo corriente media (ACC) [8]-[9], dicha estructura de control se muestra en la Figura 7

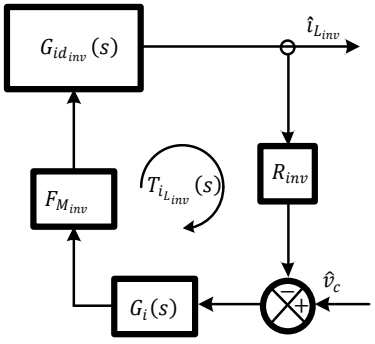


Figura 7. Estructura del Lazo de Control de corriente ACC en el inversor.

Donde R_{inv} es la ganancia de sensado de la corriente de salisa del inversor, que tiene un valor de $R_{inv} = 0.2$, $G_i(s)$ es el compensador que permite que el lazo sea estable, $F_{M_{inv}} = 1/V_{pp}$ es la ganancia del modulador PWM para el control ACC, V_{pp} es la amplitud máxima del voltaje del modulador PWM en el inversor, que en este caso es de 2, por lo que $F_{M_{inv}} = 2$ y $G_{id_{inv}}(s)$ es la la función de transferencia de la etapa de potencia, que en este caso, es la relación de la corriente de salida del inversor en relación al ciclo de trabajo del inversor.

Para determinar $G_{id_{inv}}(s)$, se analiza dicha relación en el circuito de pequeña señal del inversor que se muestra en la Figura 6(b), con la siguiente condición

$$G_{id_{inv}}(s) = \left.\frac{\hat{\imath}_{L_{inv}}}{\hat{d}_{inv}}\right|_{\hat{v}_i=\hat{v}_{red}=0} \tag{11}$$

De donde se obtiene que:

$$\frac{\hat{\imath}_{L_{inv}}}{\hat{d}_{inv}} = \frac{2V_i\left(s^2 L_{red}C_{red} + sR_{C_{red}}C_{red} + 1\right)}{s^3 L_{inv}L_{red}C_{red} + s^2 R_{C_{red}}C_{red}(L_{inv}+L_{red}) + s(L_{inv}+L_{red})} \tag{12}$$

Para cerrar el lazo de corriente se emplea un compensador, que para esta aplicación es P+Resonante, el resonante se ubica a la frecuencia de red, lo cual introduce una alta ganancia permitiendo un mejor seguimiento de consigna [10]. Nuevamente se busca que la ganancia del lazo de corriente de salida del inversor $\left(T_{i_{inv}}\right)$ tenga un margen de fase (PM) mayor a 50º y un margen de ganancia superior (GM) a 6 dB, con esto se asegura la estabilidad del sistema. Considerando una resistencia de damping de $R_{C_{red}} = 20\ \Omega$.

La ganancia del lazo de corriente está dado por

$$T_{i_{inv}}(s) = G_{id_{inv}} \cdot R_{inv} \cdot F_{M_{inv}} \cdot G_i \tag{13}$$

El compensador que permite estabilidad en el sistema es

$$G_i(s) = 0.45 + \frac{628.3185s}{s^2 + 6.2831s + 98696.044} \tag{14}$$

La Figura 8 muestra la ganancia del lazo de corriente, observando que el lazo es estable, de acuerdo al margen de fase de 66º y el margen de ganancia es teóricamente infinito.

La función de transferencia en lazo cerrado del control de corriente de salida del inversor queda determinada por la relación de la corriente del inductor del inversor a través del voltaje de control ($G_{ic_{inv}}(s)$), la cual se expresa por (15).

$$G_{ic_{inv}}(s) = \frac{\hat{\imath}_{L_{inv}}(s)}{\hat{v}_c(s)} = \frac{G_{id_{inv}}(s) \cdot G_i(s) \cdot F_{M_{inv}}}{1 + T_{i_{inv}}(s)} \tag{15}$$

Lazo de Voltaje de la DC-Link

La siguiente etapa en la estructura de control es el lazo de control del voltaje de la DC-Link, la función de este lazo es mantener constante el voltaje en la DC-Link para que el inversor pueda inyectar energía a la red eléctrica, al mantenerse constante el voltaje permite cumplir con la condición de que la fuente de energía renovable actúa como una fuente de corriente. La estructura del lazo de control se muestra en la Figura 9.

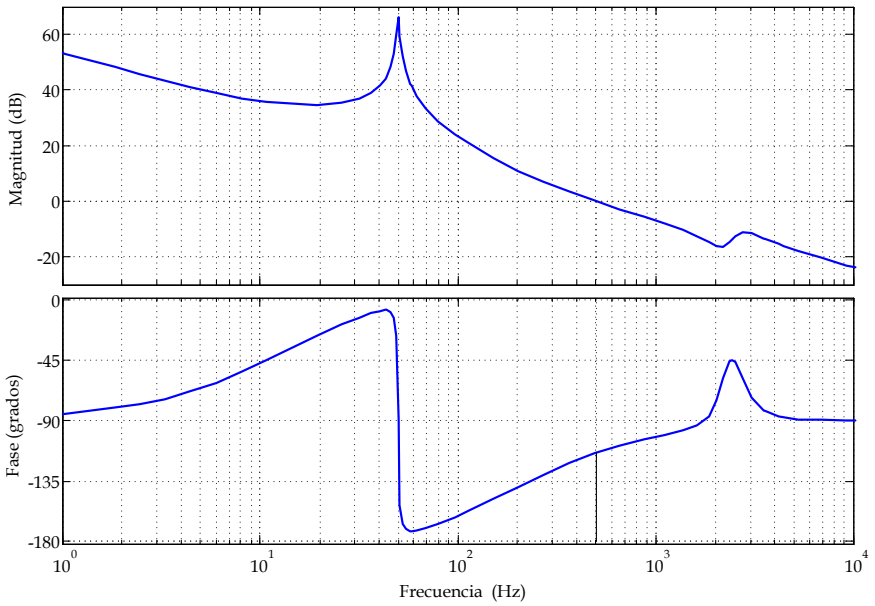


Figura 8. Diagrama de Bode de la Función de Transferencia de la ganancia del lazo de corriente de salida del inversor, $\boldsymbol{T_{i_{inv}}(s)}$.

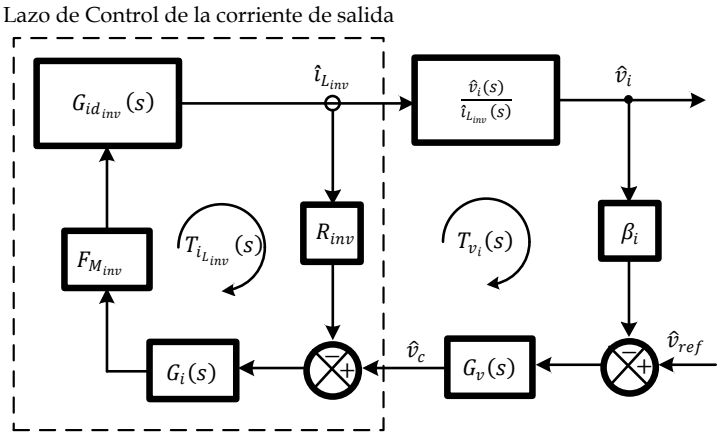


Figura 9. Estructura del Lazo de Control del voltaje de la DC-Link.

Considerando el lazo de corriente se procede a obtener la relación $\hat{v}_i(s)/\hat{v}_c(s)$, dicha relación se parte del circuito de pequeña señal, considerando solo la entrada como se muestra en la Figura 10.

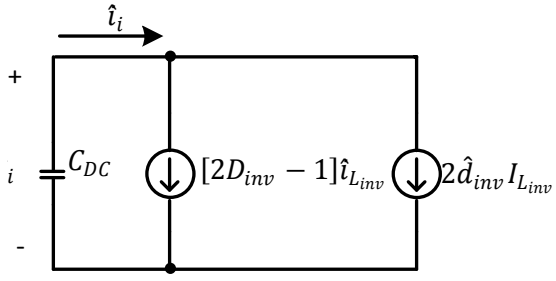


Figura 10. Circuito para la obtención de $\hat{v}_i(s)/\hat{v}_c(s)$.

Del circuito de la Figura 10 y del Diagrama de bloque de la Figura 9 se obtiene

$$\frac{\hat{v}_i}{\hat{v}_C} = -\frac{[2D_{inv}-1]\frac{\hat{\imath}_{L_{inv}}}{\hat{v}_C} + 2I_{L_{inv}} \cdot F_{M_{inv}} \cdot G_i \cdot \left[1 - R_{inv}\frac{\hat{\imath}_{L_{inv}}}{\hat{v}_C}\right]}{sC_{DC}} \tag{16}$$

Sustituyendo (15) en (16) se obtiene $G_{vc_{inv}}(s)$

$$G_{vc_{inv}}(s) = \frac{\hat{v}_i}{\hat{v}_C} = -\frac{T_{i_{inv}}[2D_{inv}-1] + 2I_{L_{inv}} \cdot F_{M_{inv}} \cdot G_i \cdot R_{inv}}{sR_{inv}C_{DC}\left(1+T_{i_{inv}}\right)} \tag{17}$$

Con esto se obtiene la ganancia del lazo del voltaje de la DC-Link, $T_{v_{inv}}(s)$, que se expresa en

$$T_{v_{inv}}(s) = G_{vc_{inv}} \cdot \beta_v \cdot G_v \tag{18}$$

Se debe de asegurar la estabilidad de la ganancia del lazo de voltaje de manera que se tenga un margen de fase (PM) mayor a 50º y un margen de ganancia superior (GM) a 6 dB, esto se consigue ajustando el compensador $G_v(s)$. El compensador que permite estabilidad tiene las siguientes ganancias $K_p = -1.6$ y $K_i = -5$. La Figura 11 muestra la ganancia del lazo de corriente, observando que el lazo es estable, de acuerdo al margen de fase de 77.9º y el margen de ganancia es teóricamente infinito.

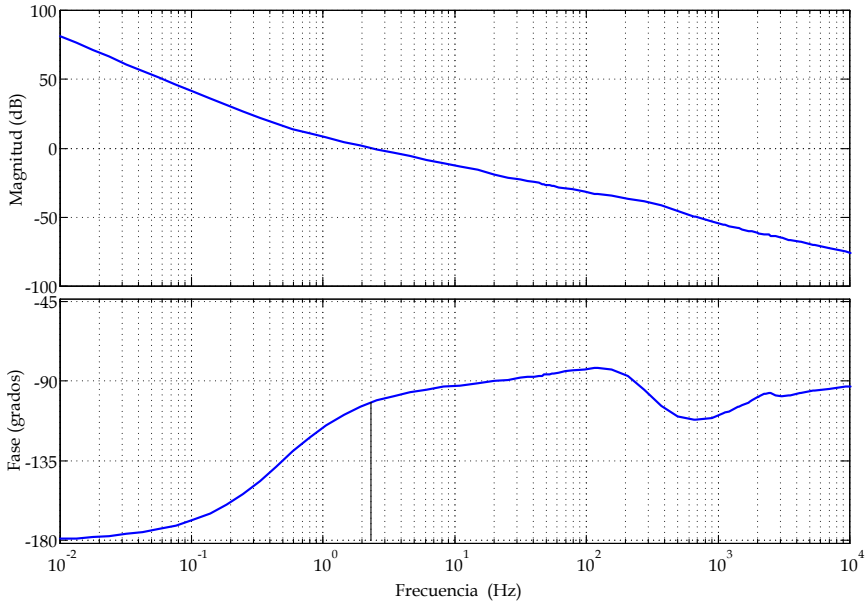
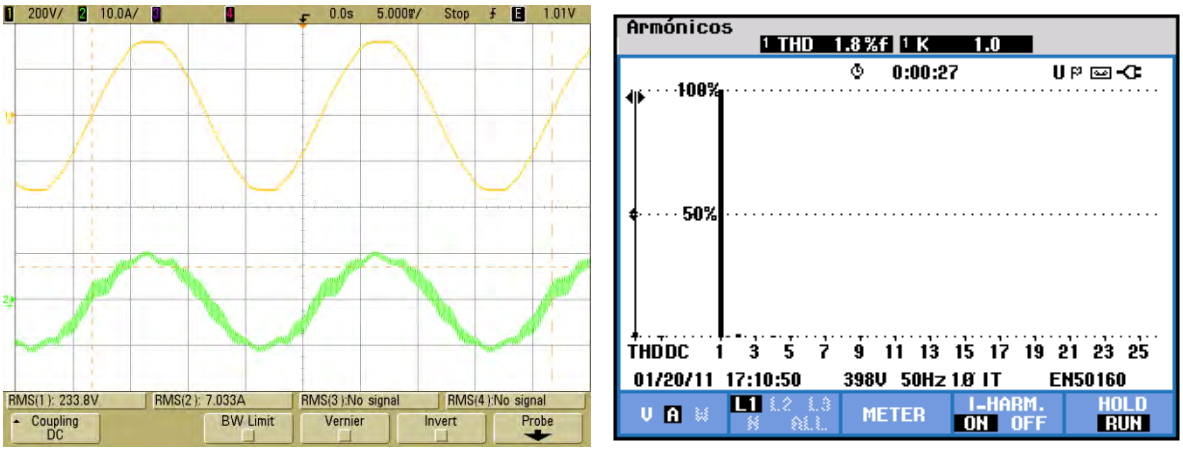


Figura 11. Diagrama de Bode de la Función de Transferencia de la ganancia del lazo del voltaje de la DC-Link, $\boldsymbol{T_{v_{inv}}(s)}$.

Resultados del Inversor

Para la implementación de toda la etapa de control se utiliza el Procesador Digital de Señales (DSP) TMS320F28335, de punto flotante. La evaluación experimental se le realiza al Inversor, es colocar una fuente de corriente proveniente de una fuente renovable, en este caso es un sistema de generación eólico (SGE) [11]. El SGE entrega al inversor una potencia de 1750 W. Se realiza la medición del voltaje de la red y la corriente que se inyecta a la red, además se medir el THD_i en la corriente de la red. La Figura 12(a) muestra el voltaje de la red (amarillo) y la corriente que el inversor inyecta a la red (verde) y Figura 12(b) muestra el THD_i.

Como se observa la corriente se encuentra sincronizada con el voltaje de la red eléctrica. La potencia que se inyecta a la red es de 1644.31 W, con lo que la eficiencia que se tiene es de 0.9394, las pérdidas se producen en los semiconductores de potencia (IGBTs), el filtro LCL y el transformador de acoplamiento a la red. El THD_i que se obtiene es del 1.8%, con lo que se cumple con la norma aplicable, la cual establece que debe de ser menor al 5% [11].



(a) (b)

Figura 12. Resultados experimentales del inversor.

Conclusión

En este trabajo se realizó un análisis de un inversor monofásico de inyección a red para ser empleado en fuentes de energía renovables. Los resultados obtenidos muestra que el análisis y diseño del sincronizador a la red es adecuado y presenta una adecuada respuesta, ya que la corriente y el voltaje están en fase, además se observa una baja distorsión de corriente debido a la implementación de filtro LCL y a un adecuado modelado del inversor, que permitió un buen diseño en los lazos de corriente de salida y del voltaje de la DC-Link.

Referencias

[1] E. Figueres, G. Garcera, J. Sandia, F. Gonzalez-Espín, J. Calvo, "Sensitivity Study of the Dynamics of Three-Phase Photovoltaic Inverters with an LCL Grid Filter", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 56, No. 3, pp. 706-717, March 2009.

[2] M. Liserre, R. Teodorescu, F. Blaabjerg, "Stability of Photovoltaic an d Wind Turbine Grid-Connected Inverter for a Large Set aof Grid Impedance Values", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 21, No. 1, pp. 263-272, January 2006.

[3] M. Liserre, F. Blaabjerg, S. Hansen, "Design and Control of an LCL-Filter-Based Three-Phase Active Rectifier", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 41, No. 5, pp. 1281-1291, September/October 2005.

[4] K. H. Ahmed, S. J. Finney, B. W. Williams, "Passive Filter Design for Three-Phase Inverter Interfacing in Distributed Generation", CPE '07 Compatibility in Power Electronics, pp. 1-9, 2007.

[5] P. Rodriguez, J. Pou, J. Bergas, J.I. Candela, R.P. Burgos, D. Boroyevich, Decoupled Double Synchronous Reference Frame PLL for Power Converters Control, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 22, No. 2, pp. 584 – 592, March 2007.

[6] V. Vorperian, "Simplified analysis of PWM converters using model of PWM switch I" IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 26, No. 3, pp. 490-496, may 1990.

[7] V. Vorperian, "Simplified analysis of PWM converters using model of PWM switch II" IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 26, No. 3, pp. 497-505, may 1990

[8] W. Tang, F.C. Lee, R B. Ridley, "Small-Signal Modeling of Average Current-Mode Control", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 8, No. 2, pp. 112-119, Abril 1993.

[9] L. H. Dixon, "Average Current Mode Control of Switching Power Supplies", Unitrode Power Supply Design Seminar SEM-700, 1990, pp. 5-1 to 5-14.

[10] D.N. Zmood, D.G. Holmes, "Stationary frame current regulation of PWM inverters with zero steady-state error," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.18, No.3, pp. 814-822, May 2003.

[11] O. Carranza, E. Figueres, G. Garcerá, R. Ortega, D. Velasco, "Low Power Wind Generation System based on Variable Speed Permanent Magnet Synchronous Generators" in Proc. IEEE ISIE, 2011, pp. 1063-1068.

[12] IEEE STD. 519-1992, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, IEEE Industry Applications Society/Power Engineering Society.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 48. Volumen 4(3), 8 páginas.

DISEÑO DE UN CONTROLADOR REPETITIVO PARA REDUCCIÓN DE THDv EN UN INVERSOR MONOFÁSICO PARA MICRORREDES

Rubén Ortega Gonzalez[1], Emilio Figueres Amorós[2], Gabriel Garcerá Sanfeliu[2], Oscar Carranza Castillo [1]

Resumen

En este artículo se presenta el análisis, diseño e implementación de un controlador Repetitivo. El objetivo de este controlador tiene como objetivo, el de reducir la distorsión armónica total en la tensión de salida de un inversor monofásico. El inversor se diseñó para operar en modo isla como fuente de voltaje, pudiendo aplicarse en una microrred. El propósito de este regulador es mantener la forma de onda, la amplitud y la frecuencia de la señal de voltaje de la salida del inversor. Ajustándose su operación al estándar IEEE519, cuando se alimentan cargas no lineales. Para su comprobación se llevaron a cabo simulaciones en PSIM™ con carga lineal y no lineal.

Palabras clave: Controlador Repetitivo, Inversores, Microgrids, THDv.

Summary

This paper presents the design, analysis and implementation of a Repetitive controller. This controller has the goal of reducing to output voltage harmonic distortion in a single-phase inverter. The inverter is designed to operate in islanded condition as a voltage source; it can be applied in microgrids. The purpose is to keep the output voltage waveform, frequency and amplitude according to the standard IEEE 519, when nonlinear loads are feed. Simulations where performed with lineal and nonlineal load in PSIM™.

Keywords: Repetitive Controller, Investors, Microgrids, THDv.

Introducción

Como consecuencia del incremento de la demanda de energía eléctrica, actualmente se están desarrollando nuevas formas de generación de energía eléctrica. Basadas en fuentes de energía renovable, tales como: eólica, solar y celdas de combustible. Las cuales se pueden sumar a la contribución de energía eléctrica de la red y de ser necesario puedan trabajar en forma autónoma, proporcionando energía directamente al usuario. Bajo esta perspectiva, se pretende hacer más flexibles los esquemas de distribución de energía ya existentes. Estos nuevos esquemas de generación se, denominan Generación Distribuida (DG) [1], [2].

Bajo este contexto, se crea la necesidad de implementar interfaces que permitan la conexión de estas pequeñas unidades a la red eléctrica (operación en conexión a red). Así como alimentar cargas directamente en ausencia de la misma (operación en modo isla). A tales interfaces, se les conoce con el nombre de microrredes [3].

Considerando que una de las formas de operar de nuestra unidad de conversión es en modo isla manejando cargas locales sin conexión a red. Se debe garantizar la calidad en el suministro, asegurando la forma de onda, la amplitud y la frecuencia de la señal a la carga. Para lograr esto, se propone la implementación de un controlador repetitivo que ante la presencia de cargas no lineales reduzca la distorsión armónica de la señal de tensión (THDv) que habrá de suministrarse a la carga. Su aplicación se justifica, ya que las corrientes armónicas incrementan las pérdidas, deterioran la calidad de la onda de tensión, producen una corriente extra por el hilo neutro, pudiendo provocar además resonancia e interferencia [4].

[1] Escuela Superior de Cómputo, Instituto Politécnico Nacional, Av. Juan de Dios Bátiz S/N, D. F., 07738, México. Tel (+52)55-5729-6000 Ext. 52022. E-mail: rortegag@ipn.mx, ocarranzac@ipn.mx

[2] Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera S/N, 7F, Valencia, 46022, España. Tel. (+34)9-6387-9606.

Descripción del sistema

La topología bajo la cual se diseño el sistema en estudio es empleando un esquema de un inversor monofásico de puente completo como el que se muestra en la Fig.1. Este toma la energía de un arreglo de paneles que proveen una potencia de 3kW con una tensión de 400V, convirtiéndola en una señal sinusoidal de 230Vrms.

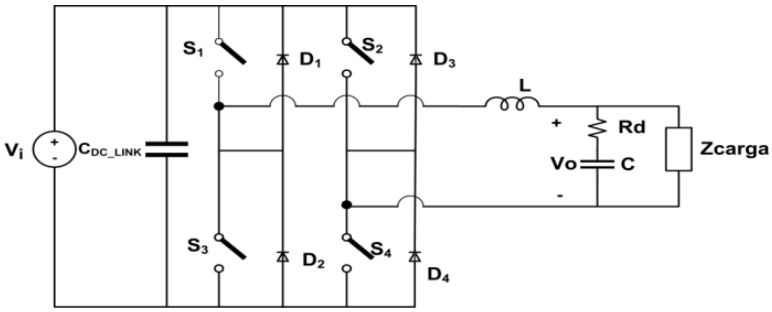


Fig. 1. Esquema circuital del inversor para operación en modo isla.

El inversor puede ser aproximado a un circuito Buck [55],teniendo en cuenta que en el punto de operación, se manejan señales periódicas variantes en el tiempo.
La ecuación que relaciona la tensión de salida con la tensión de entrada en términos del ciclo de trabajo D se presenta en la ecuación (1).

$$V_o = V_{DC} \cdot (2 \cdot D - 1) \tag{1}$$

Si se considera que cada una de las variables promediadas se pueden descomponer en un término constante correspondiente al punto de trabajo (en mayúsculas) y en termino variante de pequeña señal (con " ^") que representa la perturbación entorno al punto de operación, la ecuación (1) toma la forma de la expresión (2).

$$V_o + \hat{v}_o = (V_{DC+}\hat{v}_{DC}) \cdot \left(2 \cdot \left(D + \hat{d}\right) - 1\right) \tag{2}$$

Separando las componentes constantes y variables se tiene:

$$V_o = V_{DC} \cdot (2 \cdot D - 1) \tag{3}$$

$$\hat{v}_o = \hat{v}_{DC} \cdot (2 \cdot D - 1) + 2 \cdot V_{DC} \cdot \hat{d} \tag{4}$$

De la misma forma se pueden obtener las componentes constantes y variables para la relación entre la corriente de entrada y la corriente de salida.

Modelo de pequeña señal

$$I_i = I_L \cdot (2 \cdot D - 1) \tag{5}$$

$$\hat{\imath}_i = \hat{\imath}_L \cdot (2 \cdot D - 1) + 2 \cdot I_L \cdot \hat{d} \tag{6}$$

Con base en las ecuaciones (5) y (6) se obtiene el modelo de pequeña señal del inversor que se muestra en la Fig. 2.

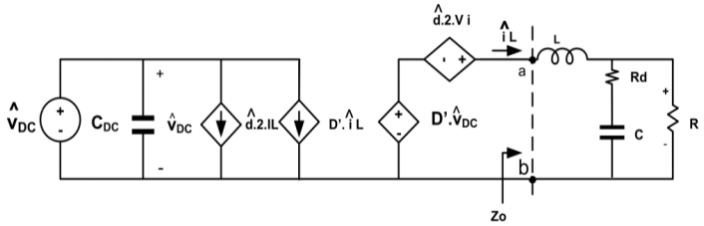


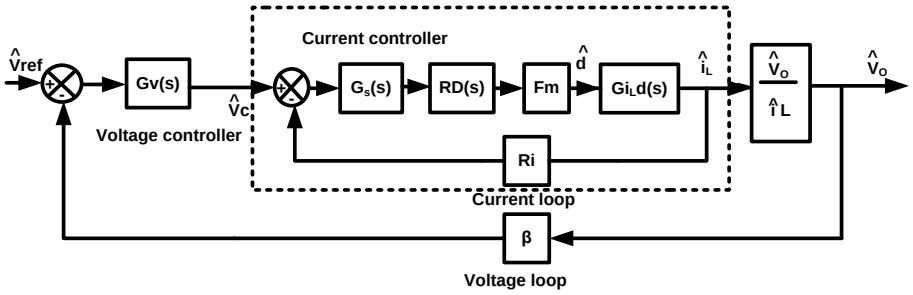
Fig. 2. Modelo de pequeña señal del inversor

A partir de este modelo y bajo un esquema de control de corriente media (ACC), que se muestra en la Fig. 3. Se busca regular la corriente en el inductor $\hat{\imath}_L$ de salida del inversor, así como la tensión de salida de este que habrá de entregarse a la carga $\hat{v}_O$.

En el diagrama de bloques de la Fig. 3, G_s representa el control del lazo de corriente, $RD_{(s)}$ representa el retardo digital de segundo orden, el cual se define como:

$$RD(s) = \frac{1-\left(\frac{s*T_S}{2}\right)+\left(\frac{(s*T_S)^2}{12}\right)}{1+\left(\frac{s*T_S}{2}\right)+\left(\frac{(s*T_S)^2}{12}\right)} \tag{7}$$

donde: $T_s = 62.5\mu s$ es el periodo de conmutación.



$R_i = 0.2$ es la ganancia del sensor de corriente.

$\beta = 0.006$ es la ganancia del sensor del lazo de tensión.

Fm, representa la ganancia del modulador PWM bipolar, que se define en (8).

Fig. 3. Control de corriente media ACC para operación del inversor en modo isla

$$F_m = \frac{1}{V_{pp-Triangular}} = 1 \tag{8}$$

Del modelo de pequeña señal de la Fig. 2 y del diagrama de bloque de la Fig. 3 se obtiene la función de transferencia que relaciona la corriente en el inductor con el ciclo de trabajo. Esta función de transferencia permitirá diseñar el lazo de corriente.

La función de transferencia que relaciona la corriente de salida con el ciclo de trabajo se expresa en (9):

$$G_{iL-d}(s) = \frac{\hat{\imath}_L}{\hat{d}}\Big|_{\hat{\imath}DC=\hat{\imath}o=0} = \frac{2*V_{DC}}{Z_{eq}+s*L} \tag{9}$$

En la Tabla 1 se presentan los parámetros de diseño del inversor.

Tabla 1. Parámetros y valores empleados en el diseño del inversor monofásico.

Características	**Valor**
Potencia nominal del inversor	3 KW
Frecuencia de Conmutación	16 kHz
Frecuencia de la señal de referencia	50 Hz
Vrms de salida del inversor	230 V
Voltaje en la *DC_LINK*	400 V
Capacitancia de la *DC_LINK*	2 *mF*
Inductancia L	5.46 *mH*
Capacitancia del filtro C	4.7 *uF*
Resistencia de amortiguamiento *Rd.*	5 Ω
Resistencia de la carga R	17.16 Ω

Diseño del regulador de corriente

El controlador del lazo de corriente se diseñó con un control *P+Resonante* con las siguientes características [6]:

$$G_S(s) = K_P + \frac{K_h*B_h*s}{s^2+B_h*s+(\omega_h^2)} \tag{10}$$

donde, la ganancia del controlador proporcional K_P = 3.2, $\omega_h = h * \omega_O$, que se define como la pulsación de la resonancia múltiplo de la fundamental. K_h, es la ganancia del pico de resonancia a la frecuencia ω_h. B_h es el ancho de banda en rad/s, donde la resonancia presenta ganancia.

Para esta aplicación: $h = 1$, $k_h = 100$, $B_h = 2 * \pi$, $\omega_0 = 2 * \pi * 50$. La implementación de este regulador da como resultado un margen de fase de 62.1°, un margen de ganancia de 8.42 dB y un ancho de banda de 1.9 kHz como se muestra en la Fig. 4.

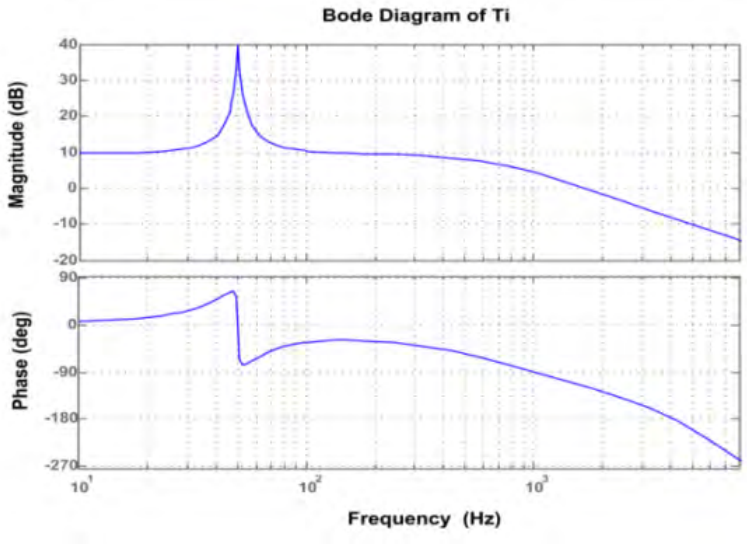


Fig. 4. Diagrama de Bode de ganancia de lazo de corrienteTi.

Diseño del regulador de tensión

El controlador de tensión que fija la referencia a seguir por el controlador de corriente, que a su vez permite regular la tensión de salida del inversor $\hat{v}_o$se implementó bajo un esquema de control de corriente media (ACC) que se muestra en la Fig. 3. En el diseño se emplearon los siguientes reguladores: controlador proporcional integral (PI), y un controlador Repetitivo.Con estos reguladores se pretende tener un adecuado seguimiento de consigna, además de disminuir la distorsión armónica en la tensión de salida del inversor cuando este se encuentra alimentando cargas lineales y no lineales. A continuación se describen estos dos tipos de controladores.

Controlador de tensión PI

El control PI, tiene como propósito obtener una respuesta estable del sistema sin error en estado estacionario. Particularmente la acción integral disminuye y elimina el error en estado estacionario provocado por el modo proporcional. El control integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional [7]. El diseño de este controlador se obtiene a partir del esquema mostrado en la Fig. 3. El controlador que cumple con tales características se presenta a continuación:

$$Gv(s) = 0.20448 * \frac{s+4270}{s} \tag{11}$$

En la Fig. 6 se muestra el diagrama de bode para el lazo de tensión de Fig. 3, el cual se define como $\mathbf{T_V(s)} = \mathbf{G_{VO\_VC}(s)} * \boldsymbol{\beta} * \mathbf{Gv(s)}$. En este diagrama se muestra que con el controlador propuesto se obtiene márgenes de fase y ancho de banda adecuados para un buen comportamiento del sistema. Margen de fase de 96.7°, margen de ganancia de 6dB y un ancho de banda de 780Hz. En la Fig. 7 se muestra que con este regulador se tiene un buen seguimiento de consigna a lo largo del ancho de banda con el que fue diseñado. Se observa que la gráfica se encuentra ubicada en 44.44 dB, debido a que la ganancia de sensado presenta un valor de 0.006, es decir, 20{log (1/0.006)}= 44.44 dB.

Controlador PI+Repetitivo

El Controlador Repetitivo es un controlador que se encuentra fuera de la clasificación de los controladores clásicos tales como los controladores Proporcional, Integral y Derivativo (PID). La innovación de este controlador radica en la aplicación que se le está dando en éste trabajo, es decir su aplicación para reducción de THDv en inversores monofásicos que se encuentran operando en modo isla dentro del contexto de una microrred. Existen otros controladores como el Controlador Resonante [8] o el Controlador H∞ que cumplen con la misma función y donde al menos los Controladores Resonantes se han estado utilizando con éxito en inversores monofásicos que se encuentran operando en modo isla. El Controlador Repetitivo se empleo en esta aplicación debido a la simplicidad de su estructura y a que es un controlador fácil de implementar en la práctica, por medio de *Procesadores Digitales de Señale*s como los DSPs. El Controlador Repetitivo tiene una amplia aplicación en Filtros Activos de Potencia (APF), donde su función fundamental es la de suministrar la corriente armónica que consume la carga para que las corrientes de suministro sean sinusoidales.

La adición de un controlador repetitivo al control PI anteriormente diseñado, tendrá como objetivo, contribuir a mejorar el rechazo de perturbaciones, reduciendo el THDv de la tensión de salida del inversor. El control repetitivo, basa su funcionamiento en el principio del Modelo Interno (IMP) [9], para el diseño de controladores capaces de seguir referencias periódicas y rechazar perturbaciones periódicas. El controlador repetitivo presenta una ganancia infinita en todas aquellas frecuencias que son múltiplos de 1/T, siendo T el periodo de la fundamental de la señal de referencia. Dicha característica asegura el rechazo de perturbaciones y un error nulo en el seguimiento de referencias que incluyan las componentes espectrales de dichas frecuencias. Básicamente el control repetitivo, está conformado por un retardo e^{-sT} que conjuntamente con una realimentación positiva, introduce una elevada ganancia a las frecuencias armónicas. Adicional al retardo, es conveniente agregar un filtro paso bajo Q(s), el cual puede ser IIR o FIR, con el fin de atenuar la ganancia en aquellas frecuencias donde se incrementa la incertidumbre respecto al comportamiento de la planta. Dichas componentes suelen ser armónicas de la señal fundamental [10-12]. El diseño de este controlador se obtiene a partir del esquema mostrado en la Fig. 5:

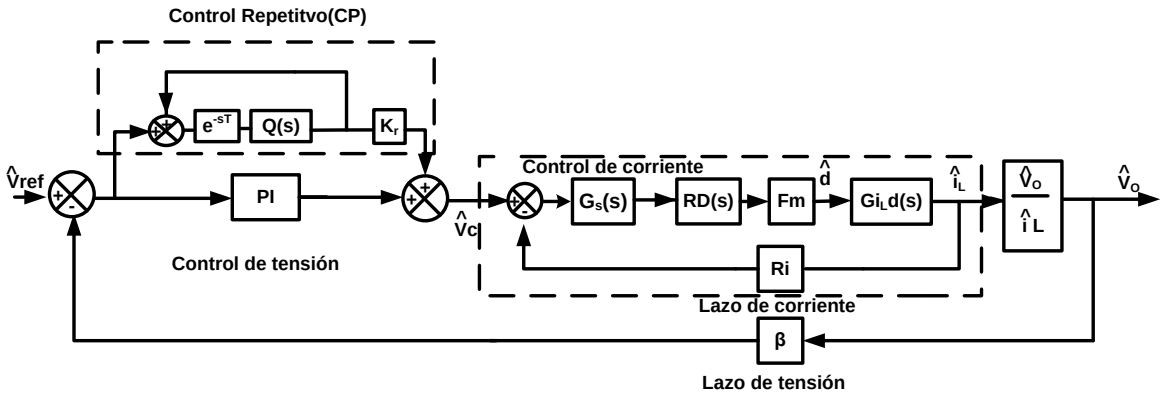


Fig. 5. Diagrama de bloques del control repetitivo implementado.

dónde: e^{-sT}, representa un retardo, donde T representa el periodo de la señal fundamental, Kr es la ganancia del controlador repetitivo ($Kr = 0.4$) y $Q(s)$ es un filtro pasa bajo de segundo orden con respuesta infinita al impulso (IIR).

$$Q(s) = \frac{1}{\frac{s^2}{\omega_q^2}+\frac{2\varepsilon s}{\omega q}+1} \tag{12}$$

siendo ε el coeficiente de amortiguamiento ($\varepsilon = 0.707$) y ω_q la frecuencia de corte del filtro en rad/s ($\omega_q = 2\cdot\pi\cdot400$). Los valores de Kr y ω_q se eligieron para mantener márgenes de estabilidad adecuados.

La ganancia del lazo de tensión para este controlador está dada por la expresión (13).

$$\mathrm{Tv_{CR}(s)} = (\mathrm{PI} + \mathrm{CR}) * \mathrm{G_{vo_{vc}}(s)} * \beta \tag{13}$$

donde $G_{Vo\_Vc}(s)$ es la función de transferencia que relaciona la tensión de salida con la tensión de control.

En la Fig. 6 se muestra que con el Controlador Repetitivo y PI propuesto se logra un margen de fase de 81.5º, un margen de ganancia de 6.1dB y un ancho de banda de 869 Hz. Al igual que en el caso de la aplicación del controlador PI, este controlador presenta un buen seguimiento de consigna a lo largo del ancho de banda para el cual fue diseñado, según se puede apreciar en la Fig. 7.

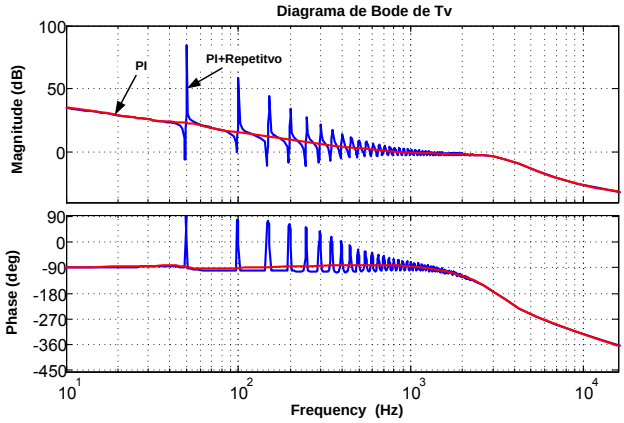


Fig. 6. Diagrama de Bode para Tv para el regulador PI y PI+ Repetitivo

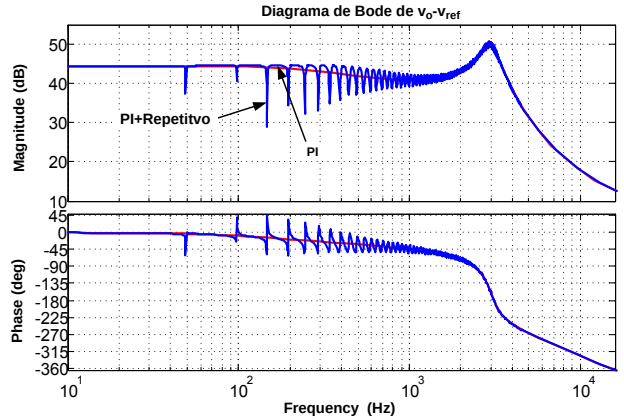


Fig. 7. Diagrama de Bode para v_o-v_{ref} para el regulador PI y PI+Repetitivo

Simulaciones y Resultados

En la Fig. 8 se muestra la simulación y formas de onda de la señal de tensión y corriente de salida del inversor en operación en modo isla con un controlador PI+Repetitivo alimentando carga lineal. Observándose un buen comportamiento y presentándose un *THDv* de 0.8%.

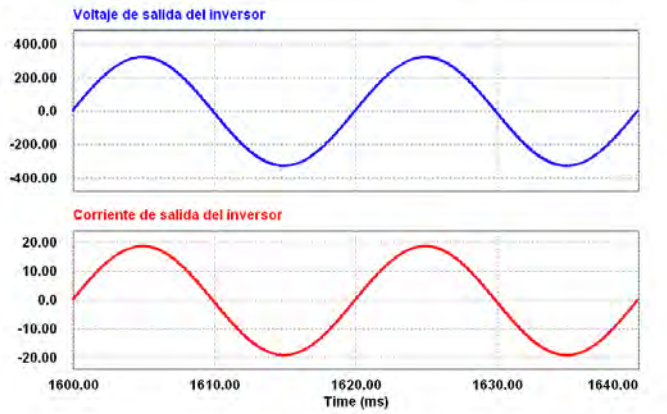


Fig. 8. Forma de onda de tensión y corriente de salida del inversor con Controlador PI+ Repetitivo.

En la Fig. 9 se muestra la simulación y formas de onda de tensión y corriente de salida del inversor operando en modo isla con un controlador PI y alimentando carga no lineal. Las características de esta carga se resumen en la Tabla 2. En la Fig. 9 se observa que no se tiene un buen desempeño ya que se presenta un THDv de 8.8%, valor que se encuentra fuera de norma, según el estándar IEEE 519-1992 ya que el máximo permitido es de 5% en tensión.

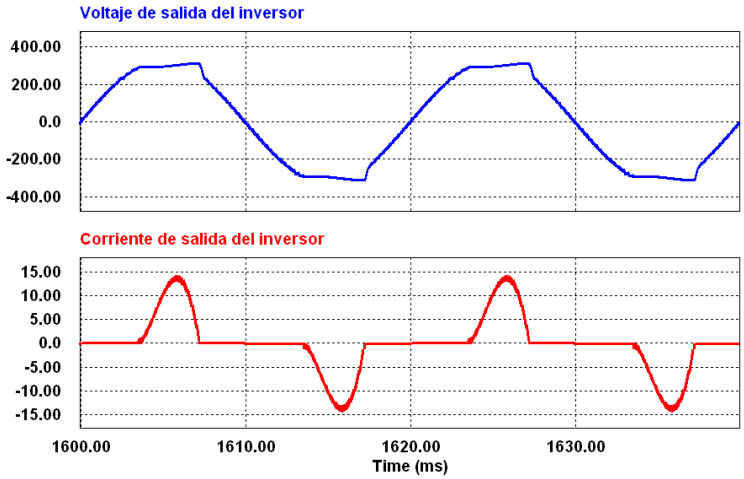


Fig. 9. Forma de onda con carga no lineal de la tensión y corriente de salida del inversor.

Tabla 2. Características de la carga no lineal

Carga no lineal con rectificador de onda completa	
Características	**Valor**
Capacitancia de la carga C	1 mF
Resistencia de la carga R	90 Ω
Factor de cresta	4.2

En la Fig. 10 se muestra la simulación y formas de onda de tensión y corriente de salida del inversor operando en modo isla con el controlador PI+Repetitivo y alimentando carga no lineal. Donde se puede observar que con este se obtiene un muy buen resultado, ya que el THDv es de 2.7%, valor que se encuentra dentro del estándar. La Tabla 3 muestra los resultados de *THDv*, que se obtuvieron con la implementación del controlador PI Y PI+Repetitivo.

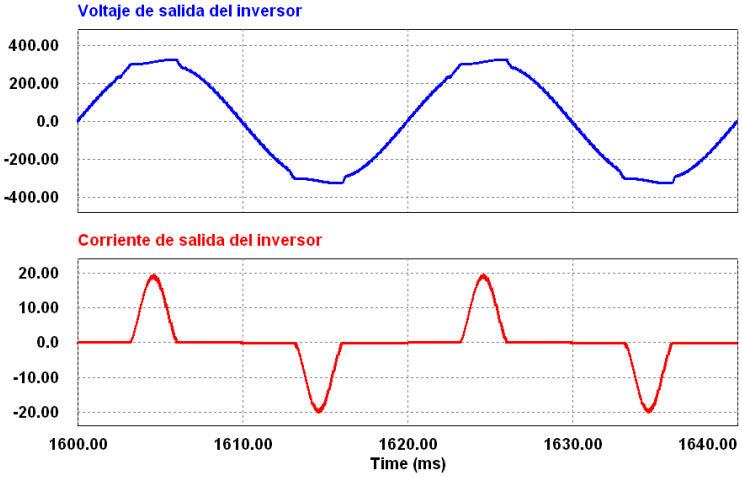


Fig.10 . Forma de onda de tensión y corriente de salida del inversor con controlador PI+ Repetitivo y alimentando carga no lineal.

Tabla 3. Resultados Comparativos

Resultados de THDv con los controladores utilizados	
Controlador	***THDv (%)***
Proporcional Integra (PI)	8.8
Dos Grados de Libertad +Repetitivo	2.7

Conclusiones

El este trabajo se presentó el diseño, desarrollo y simulación de un controlador PI+Repetitivo. Diseño realizado para una aplicación de control de inversores operando en modo isla en el contexto de las microrredes. Con éste controlador se logró regular la tensión de salida del inversor. Es decir, se logró mantener la forma de onda, amplitud y frecuencia de la señal de tensión de salida que debería aplicarse a cargas lineales y no lineales según el estándar para regulación de tensión mínimos recomendados. Esto es, al comparar los resultados obtenidos con la aplicación de un control PI y un control PI+Repetitivo se observó que con éste último se obtuvo un menor *THDv* que con el primero. Es decir, se redujo el THDv de 8.8% a 2.7% respectivamente, obteniéndose un muy buen resultado con su implementación.

Agradecimientos

El primer autor agradece al Instituto Politécnico Nacional (IPN), a la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas (COFAA), y a la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). Este trabajo fue apoyado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España, bajo el proyecto ENE2009-13998-C02-02.

Referencias

[1] REN21 Steering Committee. "Renewable 2009, Global Status Report". World Watch Institute Washington, DC, 2009.

[2] Puttgen H.B.; MacGregor P.R.; Lambert F.C. "Distributed Generation: Semantic Hype or the Dawn of a New Era?". Power and Energy Magazine, IEEE, Vol.1, No.1, pp. 22-29. Jan Feb 2003.

[3] Lasseter, R.H., et al. "White Paper on Integration of Distributed Energy Resources. The CERTS microgrid concept". Consortium for Electric Reliability Technology Solutions. pp.1-27, 2002.

[4] A. Emadi, A. Ñasiri, and S.B. Bekiaarov, Uninterruptible Power Supplies and Active Filters, Boca Raton: CRC Press, 2005.

[5] Mohan, N.; Undeland, T.; Robbins, W, "Power Electronics: converters, applications, and design, "John Wiley & Sons, 1995.

[6] Zmood, D.N.; Holmes, D.G., "Stationary frame current regulation of PWM inverters with zero steady-state error, "Power Electronics, IEEE Transactions on, vol.18, no.3, pp. 814-822, may 2003.

[7] Kuo, B.C.; Golnaraghi, F., "Automatic control systems, "John Wiley & Sons, 2002.

[8] D.N. Zmood, D.G. Holmes. Stationary Frame Current Regulation of PWM Inverters with Zero Steady State Error. Power Electronics, IEEE Transactions on, Volume.18 No.3, May 2003, pp. 814-822.

[9] B. A. Francis and W. M. Wonha,."Internal model principle in control theory". Automatica, 12:457-465, 1976.

[10] Srinivasan K, Shaw F. R. "Analysis and Design of Repetitive Control Systems using the Regeneration Spectrum". *American Control Conference.* Vol. No., pp.1150-1155, 23-25 May 1990.

[11] K. Zhou and D. Wang, "Unified robust zero-error tracking control of CVCF PWM converters". IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications, Vol. 49, No. 4, pp. 492–501, April 2002.

[12] H. Broberg and R. Molyet. "Reduction of Repetitive Errors in Tracking of Periodic Signals: Theory and Application of Repetitive Control" in *1st IEEE Conference on Control Application* (Dayton, OH). IEEE, September 1992, pp. 1116–1121.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 50. Volumen 4(3), 8 páginas.

BEATING JPEG2000: INTRODUCTION OF THE H*I*-SET IMAGE CODER

Jesús Jaime Moreno Escobar[1]

Resumen

En este trabajo se presenta un algoritmo efectivo y computacionalmente simple para la compresión de imágenes, el cual está basado en un Escaneo de Hilbert de Arboles Cuaternarios (Hilbert Snanning of Embedded quadTrees, Hi-SET). El algoritmo propuesto permite representar una imagen como una trama de bits con propiedades *embedded* junto con su función fractal correspondiente. La propiedad *embedded* es una característica importante de los compresores de imágenes modernos, Salomon en [1, p. 613] cita que otra característica que deben poseer los compresores actuales es el hecho de alcanzar la mejor calidad con los bits que el decodificador tenga punto de la descompresión. Hi-SET también posee esta última característica. Además, el compresor está basado en una estrategia de partición cuaternaria que cuando se aplica a estructuras de transformación de imagen como son las transformadas Discreta del Coseno y Wavelet, permite obtener un agrupamiento de la energía tato en la frecuencia como en el espacio. El algoritmo de compresión está comprendido por tres pasos generales, utilizando sólo la lista de pixeles significativos. La implementación del algoritmo fue desarrollado para imágenes en escala de grises y de color. Las imágenes comprimidas con Hi-SET, en promedio, son 6.2 dB mejores que las obtenidas por otras técnicas de compresión basadas en el fractal de Hilbert. Además, Hi-SET mejora la calidad de la imagen en 1.39 dB y 1.00 dB en compresión en escala de grises y de color, respectivamente, cuando se compara con el compresor JPEG2000.

Palabras clave: Fractales, Codificación de Imágenes, Compresión de Imágenes, Arboles Cuaternarios, Transformadas Wavelet.

Abstract

In this work we present an effective and computationally simple algorithm for image compression based on Hilbert Scanning of Embedded quadTrees (Hi-SET). It allows representing an image as an embedded bitstream along a fractal function. Embedding is an important feature of modern image compression algorithms, in this way Salomon in [1, p. 614] cite that another feature and perhaps a unique one is the fact of achieving the best quality for the number of bits input by the decoder at any point during the decoding. Hi-SET possesses also this latter feature. Furthermore, the coder is based on a quadTree partition strategy, that applied to image transformation structures such as discrete cosine or wavelet transform allows obtaining an energy clustering both in frequency and space. The coding algorithm is composed of three general steps, using just a list of significant pixels. The implementation of the proposed coder is developed for gray-scale and color image compression. H*i*-SET compressed images are, on average, 6.20 dB better than the ones obtained by other compression techniques based on the Hilbert scanning. Moreover, Hi-SET improves the image quality in 1.39 dB and 1.00 dB in gray-scale and color compression, respectively, when compared with JPEG2000.

Keywords: Fractals, Image Coding, Image Compression, Quadtrees, Wavelet Transforms.

1. Introduction

One of the biggest challenges of image compressors is the massive storage and ordering of coefficients coordinates. Some algorithms, like EZW [2], SPIHT and SPECK [3, 4], are based on the fact that the execution path gives the correct order, as a result of comparison of its branching points [5].

[1] Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional, Avenida Politécnico s/n, Lindavista, México, D.F., 07738, México. E-mail: jmorenoe@ipn.mx

The proposed coder makes use of a Hilbert Scanning, which exploits the self similarity of pixels. Hence, applying a Hilbert Scanning to Wavelet Transform coefficients takes the advantage of the similarity of neighbor pixels, helping to develop an optimal progressive transmission coder. In this way, at any step of the decoding process the quality of the recovered image is the best that can be achieved for the number of bits processed by the decoder up to that moment. Furthermore, the Hilbert's Space-Filling Curve gives by oneself its coordinate, since each branch belongs to a big one unless this is a root branch. Hence, the decoder just needs the magnitudes in order to recover a coefficient.

The paper is organized as follows: Section 2 outlines the Hilbert Scanning, illustrated by a function for generating recursively Hilbert curves. Section 3 describes the algorithm of the Image Coder based on Hilbert Scanning of Embedded quadTrees, divided in two parts. In the first part, *Startup Considerations*, we show how coordinates of a two-dimensional array are transformed and ordered by a Hilbert Mapping and stored into an one-dimensional array, in addition to test the significance of a quaternary branch. At the second part, *Coding Algorithm*, the stages of the algorithm are described, namely Initialization, Sorting and Refinement Passes. Experimental results applied for sixteen test images are given in section 4. In the last section, conclusions are explained.

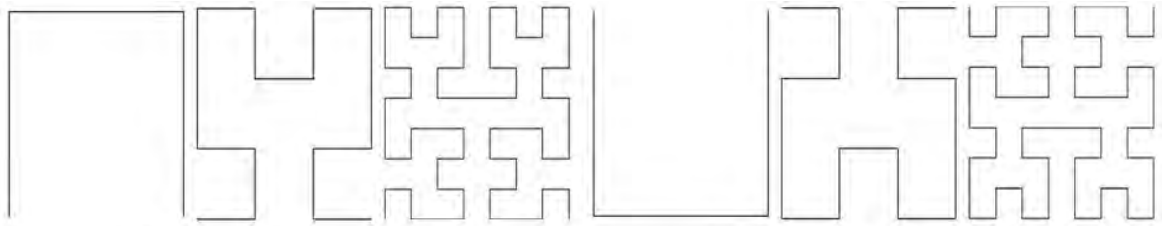
2. Hilbert Scanning

An important image compression task is to maximize the correlation among pixels, because the higher correlation at the preprocessing, the more efficient the data compression.

The fractal Hilbert Scanning process remains in an area as long as possible before moving to the neighboring region, thus exploiting the possible correlation between neighbor pixels. Let *W*, *X*, *Y* and *Z* be the upper left, lower left, lower right and upper right quadrants, respectively.

Let *U* (*up*: $W \rightarrow X \rightarrow Y \rightarrow Z$), *L* (*left*: $W \rightarrow Z \rightarrow Y \rightarrow X$), *R* (*right*: $Z \rightarrow W \rightarrow X \rightarrow Y$), and *D* (*down*: $X \rightarrow W \rightarrow Z \rightarrow Y$) be the alphabet. Each curve of the alphabet represents a $4m$ coefficient arrangement, where *m* is its level.

High order curves are recursively generated replacing each former level curve with the four later level curves, namely *U* is changed by *LUUR*, *L* by *ULLD*, *R* by *DRRU* and *D* by *RDDL*. The original work made by David Hilbert [6], proposed a fractal axiom or initiator with a *D* trajectory (Fig. 1a), while an *U* path is proposed to start with, since in a wavelet transformation the most relevant coefficients are at the upper-left quadrant, namely at the Residual Plane. The first three levels are portrayed in left-to-right order by Fig. 1b.



(a) Canonical Scanning, Axiom = $\mathcal{D}$ [6]. (b) Proposed Scanning, Axiom = $\mathcal{U}$.

Fig. 1. Hilbert's geometric constructions.

3. The H*i*-Set Algorithm

Startup Considerations

Linear Indexing

A linear indexing is developed in order to store the coefficient matrix into a vector. Let us define the Wavelet Transform coefficient matrix as H and the interleaved resultant vector as $\vec{H}$, being $2^{\gamma} \times 2^{\gamma}$ be the size of H and 4^{γ} the size of $\vec{H}$, where γ is the Hilbert curve level. Algorithm 1 generates a Hilbert mapping matrix α with level γ (Fig. 2), expressing each curve as four consecutive indexes. The level γ of α is acquired concatenating four different α transformations in the previous level $\gamma - 1$. Algorithm 1 generates the Hilbert mapping matrix α, where $\vec{\beta}$ refers a 180 degree rotation of β and β^T is the linear algebraic

transpose of β. Fig. 2 shows an example of the mapping matrix α at level $\gamma = 3$. Thus, each wavelet coefficient at H is stored and ordered at $\overrightarrow{H}_\alpha$, being α_i the location of the coefficients into $\overrightarrow{H}$.

Algorithm 1: Function to generate Hilbert mapping matrix of size $2^\gamma \times 2^\gamma$.

Input: γ
Output: α
1 **if** $\gamma = 1$ **then**
2 $\quad \alpha = \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 2 & 3 \end{bmatrix}$
3 **else**
4 $\quad \beta =$ **Algorithm 1** $(\gamma - 1)$
5 $\quad \alpha = \begin{bmatrix} \beta^T & (\overrightarrow{\beta})^T + (3 \times 4^{\gamma-1}) \\ \beta + 4^{\gamma-1} & \beta + (2 \times 4^{\gamma-1}) \end{bmatrix}$

Significance Test

A significance test is defined as the trial of whether a coefficient subset achieves the predetermined significance level or threshold in order to be significant or insignificant. This test also defines how these subsets are formed. With the aim of recovering the original image at different qualities and compression ratios, it is not needed to sort and store all the coefficients $\overrightarrow{H}$ but just a subset of them: the subset of significant coefficients. Those coefficients $\overrightarrow{H}_i$ such that $2^{thr} \le \left|\overrightarrow{H}_i\right|$ are called *significant* otherwise they are called *insignificant*. The smaller the *thr*, the better the final image quality and the lower the compression ratio.

1	4	5	6	59	60	61	64
2	3	8	7	58	57	62	63
15	14	9	10	55	56	51	50
16	13	12	11	54	53	52	49
17	18	31	32	33	34	47	48
20	19	30	29	36	35	46	45
21	24	25	28	37	40	41	44
22	23	26	27	38	39	42	43

Fig. 2. Example of the mapping matrix α with level $\gamma = 3$.

Let us define a bit-plane as the subset of coefficients S_0 such that $2^{thr} \le S_0 < 2^{thr+1}$. Let H_i be the significance test of a given subset S_0. It is defined as the *i*-th element of a binary-uncoded output stream H_i:

$$H_i \begin{cases} 1, & 2^{thr} \le |S_0| < 2^{thr+1} \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

Algorithm 2 shows how a given subset S_o is divided into four equal parts (line 6) and how the significance test (lines 7-12) is performed, resulting in four subsets (S_0, S_1, S_3 and S_4) with their respective significance stored at the end of H. The subsets S_0, S_1, S_3 and S_4 are four 2×1 cell arrays. The fist cell of each array contains one of the four subsets extracted from $S_0(S_i(1))$ and the second one stores its respective significance test result $S_i(2)$.

Algorithm 2: Subset Significance.

```
   Data: S_o, thr
   Result: S_1, S_2, S_3, S_4 and Ĥ
1  γ = log_4(length of S_o)
2  Part 1 of the subsets S_1, S_2, S_3 and S_4 is declared with 4^(γ-1) elements, while part 2 with just one element.
3  i = 1
4  Ĥ is emptied.
5  for j=1 to 4^γ do
6      Store S_o(j : i × 4^(γ-1)) into S_t(1).
7      if 2^thr ≤ max|S_t(1)| < 2^(thr+1) then
8          S_t(2) = 1
9          Add 1 at the end of the Ĥ.
10     else
11         S_t(2) = 0
12         Add 0 at the end of the Ĥ.
13     i is incremented by 1, whereas j by 4^(γ-1).
```

Coding Algorithm

Similarly to SPIHT and SPECK [3, 4], H*i*-SET considers three coding passes: Initialization, Sorting and Refinement, which are described in the following subsections. SPIHT uses three ordered lists, namely the *list of insignificant pixels* (*LIP*), the *list of significant sets* (*LIS*) and the *list of significant pixels* (*LSP*). The latter list represents just the individual coefficients, which are considered the most important ones. SPECK employs two of these lists, the LIS and the LSP. Whereas H*i*-SET makes use of only one ordered list, the LSP.

Initialization Pass

The first step is to define threshold *thr* as

$$thr = \left\lfloor \log_2 \left(\max \left(\left\{ \vec{H} \right\} \right) \right) \right\rfloor \tag{2}$$

that is, *thr* is the maximum integer power of two not exceeding the maximum value found at $\vec{H}$.

The second step is to apply Algorithm 2 with *thr* and $\vec{H}$ as input data, which divides $\vec{H}$ into four subsets of $4^{\gamma-1}$ coefficients and adds their significance bits at the end of H .

Sorting Pass

Algorithm 3 shows a simplified version of the classification or sorting step of the H*i*-SET Coder. The H*i*-SET sorting pass exploits the recursion of fractals. If a quadtree branch is *significant* it moves forward until finding an individual pixel, otherwise the algorithm stops and codes the entire branch as *insignificant*.

Algorithm 3 is divided into two parts: Sign Coding (lines 2 to 9) and Branch Significance Coding (lines 11 to 16). The algorithm performs *the Sign Coding* by decomposing a given quadtree branch up to level $\gamma = 0$, i.e. the branch is represented by only 4 coefficients with at least one of them being *significant*. Only the sign of the significant coefficients is coded, 0 for positives and 1 for negatives. Also each significant coefficient is added into a spare *LSP* or *LSP0*. *The Branch Significance Coding* calls Algorithm 2 in order to quarter a branch in addition to recursively call an entire sorting pass at level $\gamma - 1$ up to reach the elemental level when $\gamma = 0$. The Significance Test results of a current branch (obtained by the Algorithm 2) and the ones of next branches (acquired by Algorithm 3, denoted as H') are added at the end of H . Also, all the significant coefficients found in previous branches (all the lists *LSP'*) are added at the end of the *LSP*.

Refinement Pass

At the end of H , the (*thr* - 1)-th most significant bit of each ordered entry of the LSP, including those entries added in the last sorting pass, are added. Then, *thr* is decremented and another Sorting Pass is performed. The Sorting and Refinement steps are repeated up to *thr* = 1.

Algorithm 3: Sorting Pass

Data: $\mathcal{S}_1, \mathcal{S}_2, \mathcal{S}_3, \mathcal{S}_4$ and γ
Result: LSP and $\widehat{\mathcal{H}}$
LSP and $\widehat{\mathcal{H}}$ are emptied.
if $\gamma = 0$ **then**
  for $i = 4$ **to** 1 **do**
    if $\mathcal{S}_i(2)$ *is significant* **then**
      Add $\mathcal{S}_i(1)$ at the beginning of the LSP.
      if $\mathcal{S}_i(1)$ *is positive* **then**
        Add **0** at the beginning of the $\widehat{\mathcal{H}}$.
      else
        Add **1** at the beginning of the $\widehat{\mathcal{H}}$.
else
  for i=1 **to** 4 **do**
    if $\mathcal{S}_i(2)$ *is significant* **then**
      Call **Algorithm 2** with $\mathcal{S}_i(1)$ and thr as input data and Store the results into $\mathcal{S}'_1, \mathcal{S}'_2, \mathcal{S}'_3, \mathcal{S}'_4$ and $\widehat{\mathcal{H}}'$.
      Call **Algorithm 3** with $\mathcal{S}'_1, \mathcal{S}'_2, \mathcal{S}'_3, \mathcal{S}'_4$ and $\gamma - 1$ as input data and Store the results into $\widehat{\mathcal{H}}'$ and LSP'.
      Add $\widehat{\mathcal{H}}'$ at the end of the $\widehat{\mathcal{H}}$.
      Add LSP' at the end of the LSP.

4. Experiments and Numerical Results

The Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) between the original image $f(i,j)$ and the reconstructed image $f(i,j)$ is employed in order to estimate the degradation introduced during the compression process. The PSNR is defined by

$$PSNR = 10\log_{10}\left(\frac{G_{\max}^2}{MSE}\right) \tag{3}$$

where $G_{\max}$ is the maximum possible intensity value in $f(i,j)$ ($M \times N$ size) and the MSE has the form:

$$MSE = \frac{1}{NM}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}\left[f(i,j) + f(i,j)\right]^2 \tag{4}$$

Comparison with Hilbert Curve based algorithms

H*i*-SET has some resemblances with other image compression algorithms, like the ones developed by Kim and Li [7] and Biswas [8]. Similarly to them, H*i*-SET maximizes the correlation between pixels using the Hilbert scanning, namely all three methods use the same fractal structure. Hence it is important to know if there has been a substantial improvement of such methods. The differences between H*i*-SET and these old methods are that the herein presented method is an embedded algorithm and proposes a coding scheme, while the Kim and Biswas methods are not embedded, since the entropy is encoded by means of a Huffman coder.

Table 1 shows the comparison between the algorithm performed by Kim and Li and H*i*-SET only for the case of the image *Lenna* (it is the only image reported result by cited authors). On the average, H*i*-SET reduces the Mean Square Error by 63.07% (Peak Signal-to-Noise Ratio in 4.75 dB). In addition, compared to the algorithm proposed by Biswas (Table 2), H*i*-SET diminishes the MSE in 84.66% or 8.15dB. For example, a compressed image with PSNR = 28.07 dB is stored by H*i*-SET at 4.87 kB (0.152 bpp), while the Biswas algorithm needs 21.41kB (0.669 bpp), that is, 4.4 times more than H*i*-SET. Thus, on average our method improves the image quality of these methods in approximately 6.20 dB.

Table 1. Comparing Hi-SET against the algorithm of Kim [7].

bpp (rate)	Kim (PSNR in dB)	Hi-SET (PSNR in dB)
0.25 (32.00:1)	27.51	31.00
0.50 (16.00:1)	30.00	34.88
0.75 (10.67:1)	31.49	36.72
1.00 (8.00:1)	32.91	38.30

Table 2. Comparing Hi-SET against the algorithm of Biswas[8].

bpp (rate)	Biswas (PSNR in dB)	Hi-SET (PSNR in dB)
0.669 (11.96:1)	28.07	36.15
0.725 (11.03:1)	28.45	36.55
0.788 (10.15:1)	28.73	36.99

Comparing Hi-SET and JPEG2000 coders

An image compression system is a set of processes with the aim of representing the image with a string of bits, keeping the length as small as possible. These processes are mainly Transformation, Quantization and Entropy Coding. For the sake of comparing the performance between the JPEG2000 standard [9] and H*i*-SET coders, each one develops a near-lossless compression with the same subset of wavelet coefficients. This way, this subset of wavelet coefficients are selected from the original source image data I_{org} such that $I_{org} \geq 2^{thr-bpl+1}$, being bpl the desired bit-plane and thr the maximum threshold

$$thr = \left\lfloor \log_2 \left(\max_{(i,j)} \left\{ \left| I_{org(i,j)} \right| \right\} \right) \right\rfloor \tag{5}$$

These selected coefficients are inverse wavelet transformed in order to create a new source of image data, i.e. I'_{org}, which are losslessly compressed by each coder, namely until the last bit-plane. Fig. 3 depicts this process. The software used to obtain a JPEG2000 compression for the experiments is *JJ2000*, developed by Cannon Research, École Polytechnique Fédérale de Lausanne and Ericsson [10]. The irreversible component transformation (ICT, *Y CbCr*) is used in addition to the 9/7 irreversible wavelet transform.

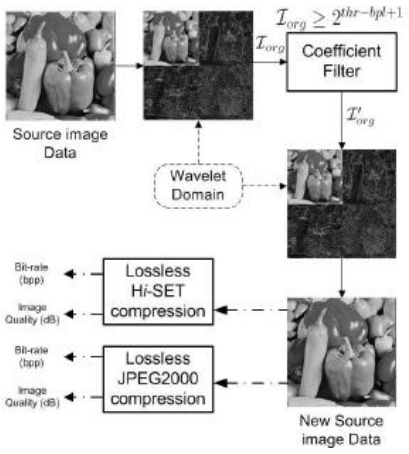


Fig. 3. *Bit-plane selection. Some coefficients are selected provided that they fulfill the current threshold.*

H*i*-SET is tested on the 24-bit-depth color images of the *Miscellaneous volume* of the University of Southern California, Signal and Image Processing Institute image database (USC-SIPI image database) [11]. This image database includes, among others, eight 256×256 pixel images (Fig. 4) and eight 512×512 pixel images (Fig. 5).

The compression algorithms are evaluated in two experiments: gray-scale images (just *Y* component) and on color images (*Y CbCr* components).

Experiment 1. Gray-scale images. In this experiment, the source image data both for the JPEG2000 standard coder and H*i*-SET algorithms are the selected images of the USC-SIPI image database (Figs. 4 and 5) transformed into grayscale images (*Y* component). Fig. 7a shows the average quality of the recovered images as a function of compression rate, where the differences between JPEG2000 (heavy dots) and H*i*-SET (heavy stars) are depicted. H*i*-SET improves either the image quality in approximately 1.39 dB with the

same compression rate or bit-rate in approximately 0.22 bpp with the same image quality. It implies saving around 1.76 kBytes or 7.04 kBytes for 256x256 and 512x512 pixels gray-scale images, respectively. On average, a 512x12 image compressed by means of JPEG2000 with 30 dB needs 15.24 kBytes at 0.4763 bpp, while H*i*-SET needs 5.7456 kBytes less than the standard, namely at 0.2967 bpp. The difference in visual quality is depicted in Fig. 6a and Fig. 6e (image *Tiffany*) and Fig. 6b and Fig. 6f (image *Baboon*). *Tiffany* is compressed at 0.17 bpp, while Baboon at 0.86 bpp. The image quality of the recovered image *Tiffany* coded by JPEG2000 is 1.85 dB lower than the one obtained by H*i*-SET. Similarly, the quality of the image *Baboon* increases by 2.26 dB when H*i*-SET is employed.

Fig. 4. Tested 256×256 *pixel 24-bit color images, belonging to the USC-SIPI image database.*

Fig. 5. Tested 512×512 *pixel 24-bit color images, belonging to the USC-SIPI image database.*

Experiment 2. Color images. In this second experiment, the tests are made on the selected images of the USC-SIPI image database transformed into the same color space used by JPEG2000 (*Y* , *Cb* and *Cr*). Fig. 7b shows the compression rate and their average quality. On the average, a 512x512 image compressed by H*i*-SET (heavy stars) with 35 dB is stored in 62.82 kBytes at 1.963 bpp, while JPEG2000 (heavy dots) stores it in 87.97 kBytes at 2.749 bpp. Fig. 6 depicts the differences when the images *Lenna* and *Peppers* are compressed at 0.39 bpp and 1.05 bpp by JPEG2000 (c and d) and H*i*-SET (g and h), respectively. At the same compression ratio, H*i*-SET improves image quality by 2.67 dB for *Lenna* and 1.84 dB for *Peppers*. On average, H*i*-SET either compresses 0.29 bpp more with the same image quality or reduces in 1.00 dB the error with the same bit-rate. Hence H*i*-SET saves 2.32 kBytes (for 256x256 images) or 9.28 kBytes (for 512x512 images) in comparison to the JPEG2000 standard coder.

Fig. 6. Examples of reconstructed images compressed by means of JPEG2000 (a-d) and Hi-SET (e-h) at 0.17 bpp (a & e), 0.86 bpp (b & f), 0.39 bpp (c & g) and 1.05 bpp (d & h).

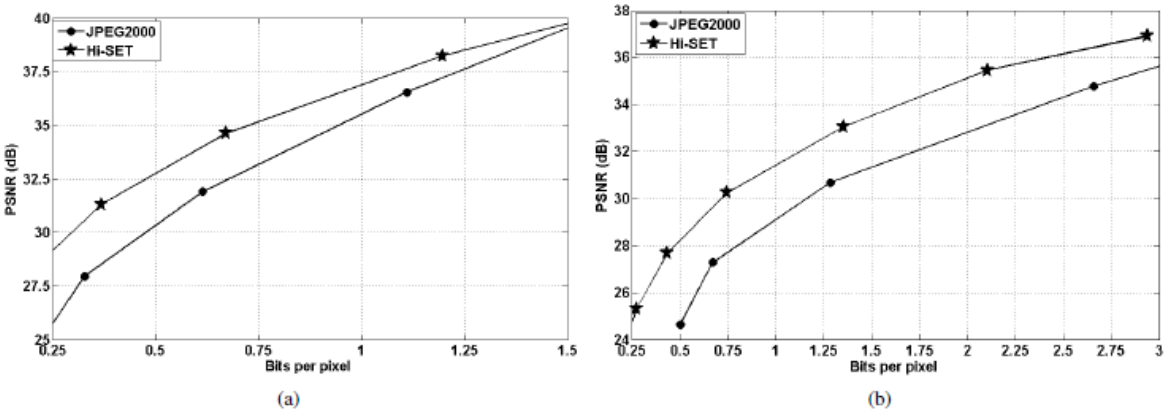


Fig. 7. Compression Rate vs Image Quality between JPEG2000 and Hi-SET: (a) Gray-scale and (b) Color compression.

5. Conclusions

The H*i*-SET coder presented in this work is based on Hilbert scanning of embedded quadTrees. It has low computational complexity and important properties of modern image coders such as embedding and progressive transmission. This is achieved using the principles of partial sorting by magnitude when a sequence of thresholds decreases. The image coding results improve 6.20 dB the image quality, when compared to other algorithms that use a Hilbert scanning as a method for pixel ordering. H*i*-SET improves the image quality around 1.39 dB when compared to the JPEG2000 standard coder for gray-scale images and 1.00 dB for color images, in addition to save around 0.22 bpp in monochromatic images and 0.29 bpp for rgb images.

Acknowledgment

This work is supported by the Ph.D grants 207950 and SeAca/COTEPABE/PL-255/10 of the Mexican Science and Technology National Council (CONACyT) and the National Polytechnic Institute of Mexico (IPN), respectively.

References

[1] David Salomon, *Data Compression: The Complete Reference*, ISBN-13: 978-1-84628-602-5. Springer-Verlag, London Limited, fourth edition, 2007.

[2] J.M Shapiro, "Embedded Image Coding using Zerotrees of Wavelet Coefficients". *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol. 41 No. 12, pp. 3445 – 3462, Dec. 1993.

[3] W. A. Pearlman and A. Said, "Image Wavelet Coding Systems: Part II of Set Partition Coding and Image Wavelet Coding Systems," *Foundations and Trends in Signal Processing*, Vol. 2 No. 3, pp. 181–246, 2008.

[4] W. A. Pearlman and A. Said, "Set partition coding: Part I of set partition coding and image wavelet coding systems,"*Foundations and Trends in Signal Processing*, Vol. 2 No. 2, pp. 95–180, 2008.

[5] Bryan E. Usevitch, "A tutorial on modern lossy wavelet image compression: foundations of JPEG 2000," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 18 No. 5, pp. 22–35, 2001.

[6] David Hilbert, "U¨ ber die stetige Abbildung einer Linie auf ein Fla¨chenstu¨ck," *Mathematische Annalen*, Vol. 38 No. 3, pp. 459–460, Sept. 1891.

[7] HyungJun Kim and C.C. Li, "Lossless and lossy image compression using biorthogonal wavelet transforms with multiplierless operations," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, Vol. 45 No. 8, pp. 1113–1118, 1998.

[8] Sambhunath Biswas, "One-dimensional B-B polynomial and hilbert scan for graylevel image coding," *Pattern Recognition*, Vol. 37, N o. 4, pp. 789 – 800, 2004, Agent Based Computer Vision.

[9] David S. Taubman and Michel W. Marcellin, *JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice*, ISBN: 0-7923-7519-X. Kluwer Academic Publishers, 2002.

[10] Cannon Research, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, and Ericsson, "JJ2000 implementation in Java, available at http://jj2000.epfl.ch/" 2001.

[11] Signal and Image Processing Institute of the University of Southern California, "The USC-SIPI image database", available at http://sipi.usc.edu/database/, 1997.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 51. Volumen 4(3), 8 páginas.

LOCK-IN AMPLIFIER FOR DETECTION OF LASER LIGHT SCATTERING

Adriana Melissa Del Carmen Jaime[1], Iván Domínguez López[1], Adrián Luis García García[1], Rubén Vázquez-Medina[2].

Resumen

Se presenta el diseño de un amplificador lock-in, desarrollado para la detección de luz laser esparcida (LLS) por la superficie de un material. El dispositivo se utiliza como accesorio en un tribómetro de perno en disco equipado con un arreglo óptico para medir LLS. El sistema electrónico está formado por tres subsistemas: uno de adquisición y filtrado de señales (lock-in), un circuito de acoplamiento del láser y un circuito de acondicionamiento para el fotodetector. La intención del diseño es mejorar el dispositivo experimental existente que requiere de un lock-in de tipo comercial. El nuevo diseño permitirá mejorar el desempeño del tribómetro de perno en disco. Se realizaron pruebas de desempeño para evaluar el sistema lock-in bajo las condiciones requeridas, encontrando que el dispositivo construido permite detectar huellas de desgaste a partir de la señal LLS.

Palabras clave: luz láser esparcida, amplificador sensible a la fase, tribómetro de perno en disco.

Summary

A design of a lock-in amplifier, developed for the detection of laser light scattering (LLS) by a material surface, is presented. This device is intended as an add-on accessory to a pin-on disk apparatus equipped with an LLS optical setup. The electronic system is formed by three subsystems: signal acquisition and filtering (lock-in), a laser coupling-circuit, and a photodetector coupling-circuit. The design is intended as an improvement over an existing experimental setup that includes a commercial lock-in. The new design will provide increased mobility of the pin-on-disc apparatus. Performance tests were conducted to evaluate the operation of the lock-in amplifier under the intended conditions, finding that the device allows wear track detection using the LLS signal.

Keywords: Laser Light Scattering, Lock-in Amplifier, Pin-on-disc Tribometer.

Introduction

A lock-in amplifier, also known as a phase-sensitive detector, is a type of amplifier that can extract a signal with a known carrier wave from an extremely noisy environment [8], which makes it suitable for many scientific [4] and engineering applications [5]. Lock-in amplifiers are instruments designed to recover signals that are buried in noise. They require a reference signal at the same frequency as the signal that is being measured and then use this to demodulate the input signal before filtering. However, the high prices and bulk size of commercially available lock-in amplifiers represents a barrier to many other uses, particularly those in which the lock-in amplifier is an accessory for going through with a main technique. In this work, a low cost lock-in amplifier was developed, suitable for laboratory work applications, to detect the signal of laser light scattered by a metal surface, using the experimental setup described by [2], in which a laser light scattering (LLS) optical was adapted to a pin-on-disc tribometer, an experimental apparatus used to characterize wear, in which a pin is run over the surface of a rotating disc.

[1] Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada CICATA, Instituto Politécnico Nacional, Cerro Blanco 141, Col. Colinas del Cimatario, Querétaro, México, 76090, +52- 442-229-0804, adelcarmenj0900@ipn.mx, idominguezl@ipn.mx, agarciag@ipn.mx

[2] Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Culhuacan, Instituto Politécnico Nacional, Santa Ana 1000, Col. San Francisco Culhuacan, Coyoacan, D.F., México 04430,ruvazquez@ipn.mx

In order to observe the minute changes caused by the pin on the surface of the rotating disc, a laser beam is pointed anywhere on the wear scar left by the pin. As a result, the amount of scattered light from the wear scar changes according to the changes caused by friction and wear on the surface texture of the disc [7]. The LLS optics consists of a modulated laser source and a suitable light detector, placed off the line of the reflected beam (Fig. 1).

Since laser light scatters in all directions, the experimental setup is quite flexible and can accommodate to different geometrical arrangements [3]. Scattered light detection is performed via the lock-in amplifier developed purposefully.

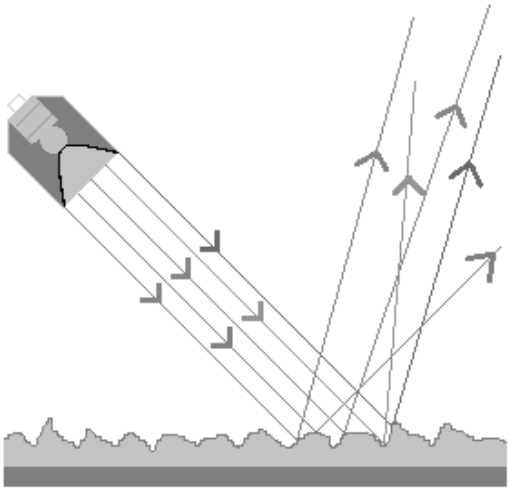


Fig 1: Scattering of laser light by a surface

System description

A schematic representation of the LLS experimental setup is shown in Fig. 2. The scattered light is detected by a photodetector. The LLS signal is coupled to the lock-in amplifier via the signal conditioning circuit. The output of the lock-in amplifier is coupled to the laser, which is modulated by a square signal reference with 2 Vpp amplitude and 100 Hz frequency. The parts of the electronics system are described next.

Signal Acquisition and Filtering Circuit (Lock-In)

Basically, a lock-in system takes the input signal Vi(t), which is amplified, and, through a phase comparator, multiplied by the reference signal, producing the signal Ve(t) [6]. The reference signal has the same frequency as the input signal and can be produced with an internal oscillator or an external source (signal generator).The signal Ve(t), is integrated over a specified period of time, using a low pass filter with cut-off frequency fc = 80 Hz. The output filter signal Vo(t) is essentially DC signal (Fig. 3) [1].

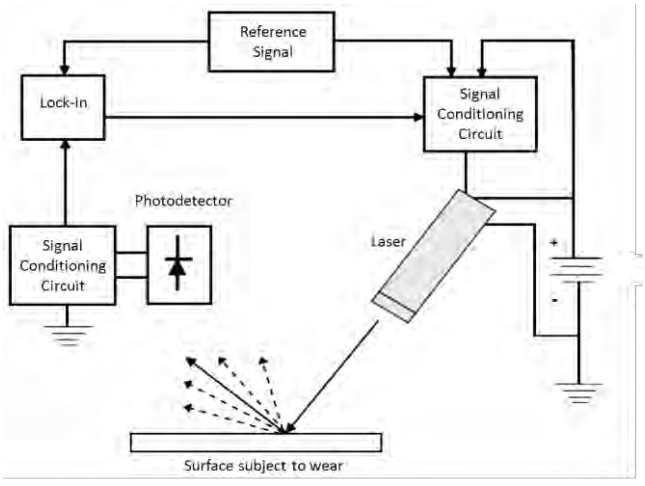


Fig. 2: LLS experimental setup.

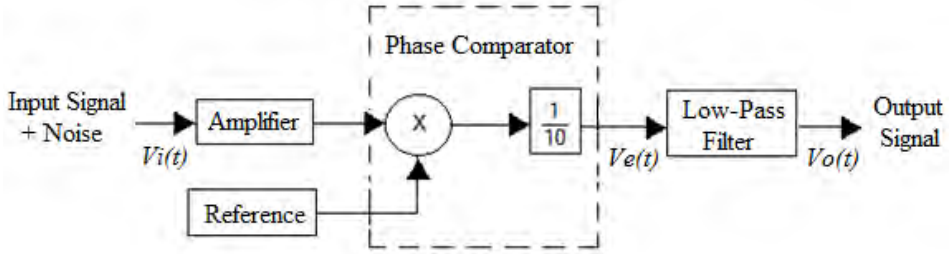


Fig. 3: Block diagram of the lock-in amplifier.

Fig. 4 shows the electronic design diagram of the lock-in circuit in Figure 3. It consists of 3 stages: an input amplifier, a detector circuit and a low pass filter.

In the first stage, a standard input amplifier model AD620 by © Analog Devices, Inc. is used. The connected resistors adjust the amplification gain to 1, 10, 50, 100, 500 and 1000 times, according to the amount of light received by the detector. Nominal 1%-tolerance resistors are used to provide adequate precision of the gain.

The second stage is an AD633 by © Analog Devices, Inc. integrated circuit. In this stage, a reference signal Y1 and an input signal X1 are multiplied. A global scaling factor of 10 V is applied to the resulting signal, prior to sending it to the amplifier output, via a Zener reference: (X1*Y1)/10.

The third stage of the circuit is formed by the low-pass filter and a direct current amplifier, which is an operational amplifier OP07 by © Analog Devices, Inc.. The filter is a resistor-capacitor circuit that uses a 1 MΩ resistance and switchable capacitors of 0.01, 0.1, 1.0 and 2.2 μF respectively, on the OP07 to fix the filter time constant.

Laser Coupling-Circuit

The light emitting device in the LLS optics is a semiconductor laser that may be TTL-modulated, which requires to increase the voltage signal sent to lock-in.

The coupling of the laser signal with the lock-in circuit is achieved through the circuit shown in Fig. 5, using a 4N28 optocoupler (Motorola, Inc.)

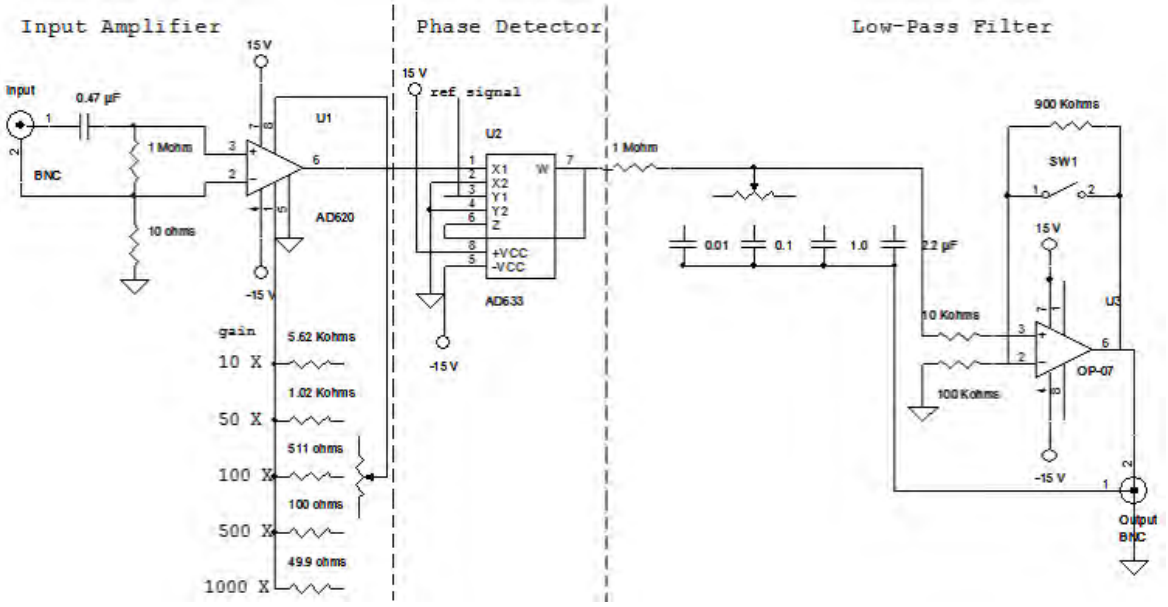


Fig. 4: Lock-in circuit.

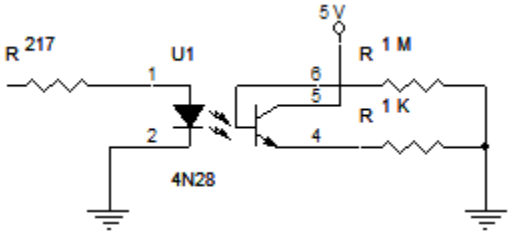


Fig. 5: Laser coupling-circuit.

Photodetector Coupling-Circuit

The laser light detector, which was already part of the LLS optics, produces a 50 to 60 nV useful signal, and a noise signal in the order of mV. The source of the noise may be the environmental light, thermal, or electrical phenomena.

The device used for light detection is a photodiode model SFH 206K by © Siemens Corporation. A signal conditioning-circuit was designed for proper signal acquisition from the photodetector (Fig. 6). A current-to-voltage converter (5 nA to 4 V) at the input of the circuit is included in the design. Also, since the signal from the photodiode is very small and is immersed in noise at a frequency of 60 Hz, a high-pass filter withcut-off frequency *fs* = 80 Hz is included.

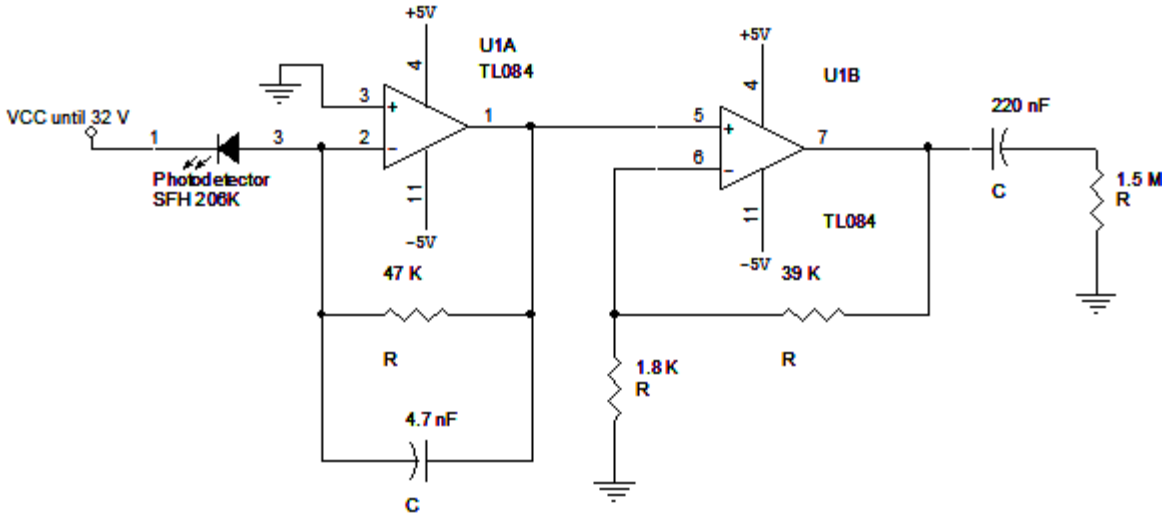


Fig. 6: Photodetector coupling-circuit.

System evaluation and results

Lock-In functionality test

For the functionality test, two signals are used: a square signal at Y1 with amplitude 2V (reference signal), and a sine signal X1 for the input of the lock-in with amplitude 4V. At the detection stage, the output signal is equal to (X1*Y1)/10, therefore, the result is equivalent to 800 mV output, as shown in Fig. 7.

The low-pass filter output is a DC level signal; mathematically it proves that for a sine wave the effective value (RMS) is given by (1):

$$V_{ef} = \frac{V_o}{\sqrt{2}} \tag{1}$$

where: V_{ef} - the effective voltage
V_0 – Amplitude of the input signal

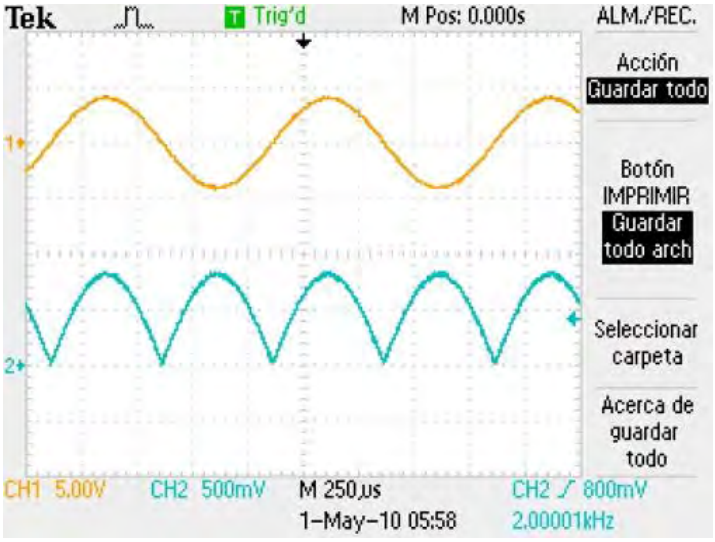


Fig. 7: AD633 output signal.

Thus, with an input signal to the low-pass filter of Vo = 800 mV, an effective Vef = 565 mV is expected. The graph of the CD signal in Fig. 8 shows a 530 V signal, close to the theoretical value expected from quation (1).

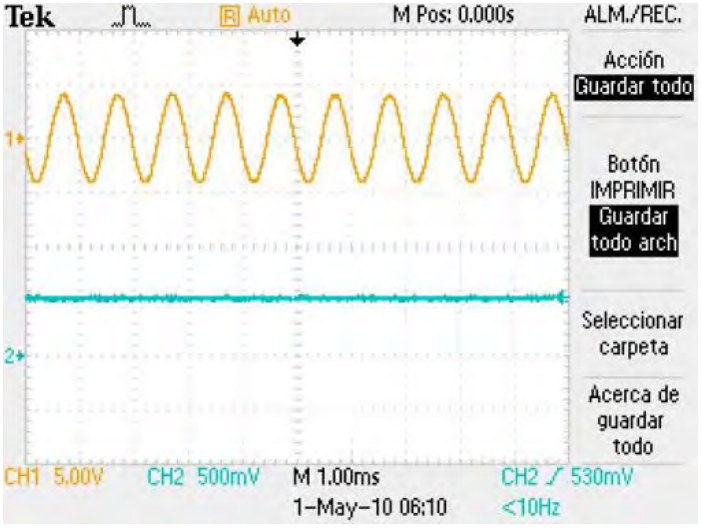


Fig. 8: CD filtered-signal.

LLs signal detection.

For these tests, changes in amplitude and average voltage in the photodector were observed when scattered light reached it. The experimental results are shown in Fig. 9 and Fig. 10.

Fig. 9 shows the behavior of the photodetector signal in darkness, i.e. when there is no scattered light reaching the detector; on the other hand. Fig. 10 shows the result of scattered light impinging on the detector.

Detection test on a wear-track.

Experiments were performed on both a smooth and a worn surface. Fig. 11 shows the experimental results obtained using the lock-in amplifier. The orange line corresponds to the output signal from the detector when a smooth surface is under test. The blue line corresponds to the output signal from the phase-comparing circuit in the lock-in.

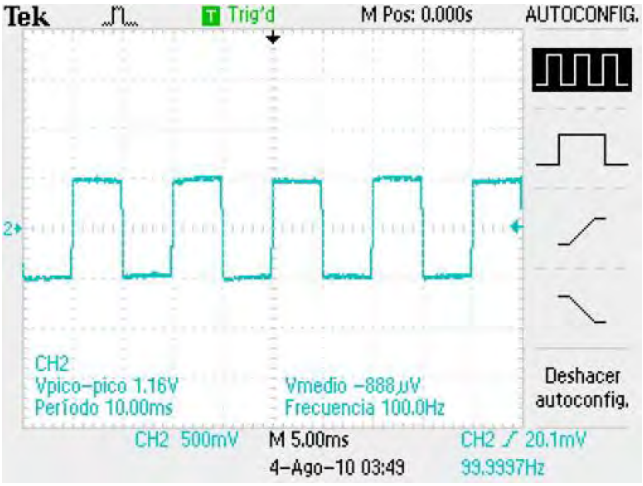


Figure 9: Photodetector in darkness.

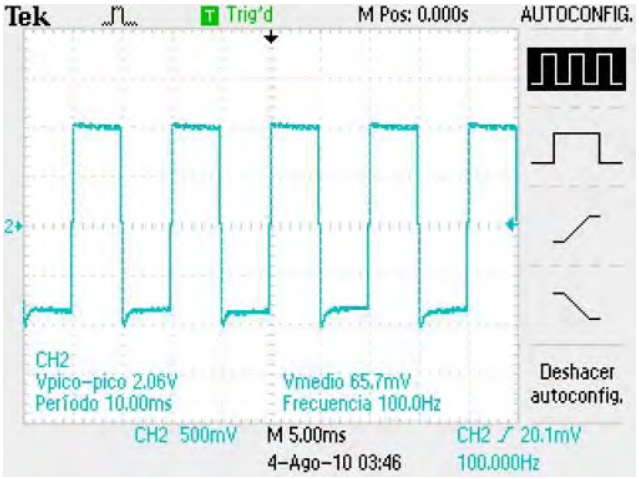


Fig. 10: LLS signal detected by the photodetector

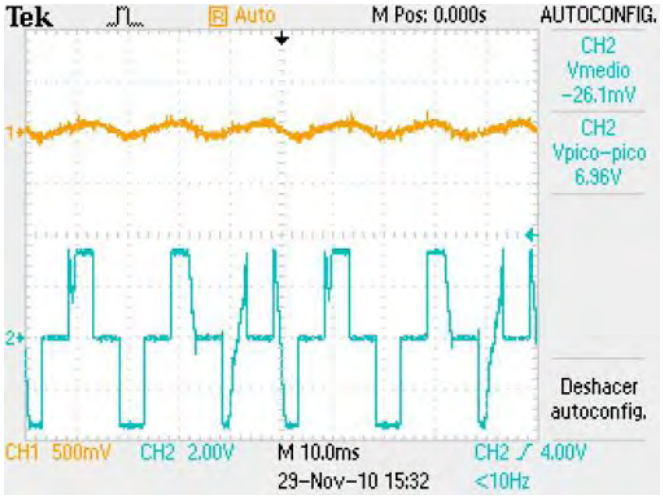


Fig. 11: LLS signal from a smooth surface.

Fig. 12 shows the experimental results obtained when the laser light is scattered from the wear-track. The amplification level goes from a 336 mV (orange line) to a 7.04 V (blue line).

Fig. 13 shows the Fast Fourier Transform of both, the photodetector and the lock-in signals. Frequencies much larger than zero are noisier, therefore, less significant.

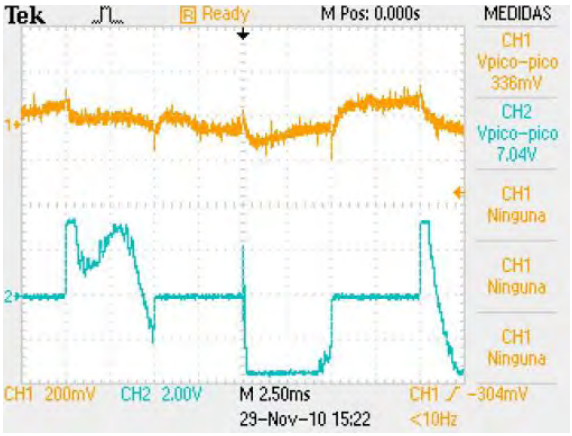


Fig. 12: LLS signal from a wear-track.

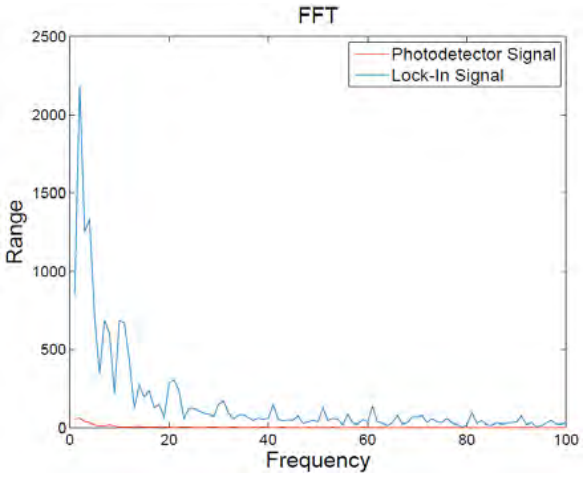


Fig. 13: FFT of the photodetector before passing the low-pass filter in the lock-in amplifier.

The direct signal output of the low-pass filter has a value of 620 mV, on the smooth surface, and 380 mV on the wear-track. Therefore, the changes of signal amplitude in a dynamic experiment, correlate with changes in surface texture.

Conclusions

A lock-in amplifier was developed as an accessory to a pin-on-disc apparatus, in order to detect changes in the LLS signal caused by surface texture changes due to wear.

The experimental results demonstrate a good performance of the lock-in amplifier here presented, making it feasible to substitute a commercial lock-in amplifier, for the application here described.

The expediency of the design is the low-cost, simplicity of the design and ease of operation.

Acknowledgements

Iván Domínguez gratefully acknowledge the constat support of: Dr. Gerardo Miramontes de León, Juan Guillermo García Guajardo and Francisco Iván Silva Tapia. Parts of the research have been carried away under grants from Instituto Politécnico Nacional, and a scholarship from the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (AMDCJ).

References

[1] Burdett, R. Amplitude Modulated Signals – The Lock-in Amplifier. Handbook of Measuring System Design. Ed. Wiley. 2005.
[2] Martínez, V., Domínguez, I., García, A. Modelo numérico de esparcimiento de luz láser en superficies metálicas usando el método de Monte Carlo. Superficies y Vacío. ©Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales. 22(2).2009.pp 29-35
[3] Rodríguez, J.A. Inspección de acabado superficial para procesos de rectificado y fresado mediante esparcímetro de luz láser. Tesis de Maestría en Tecnología Avanzada. IPN. México, 2009.pp 18-28
[4] Rubín, G., Dávila, J., Soto, J.. Detección lock-in intermodulada. Puebla, México. Segundo Congreso Nacional de Electrónica. 2002
[5] Sánchez, J., Guerrero, J., Sánchez, J., 2002. Implementación de un Amplificador Lock-In Digital en el DSP TMS320C50. Facultad de Ciencias de la Electrónica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. *Segundo* congreso nacional de electrónica.
[6] Scofield, J. H. Frequency-domain description of a lock-in amplifier. American Journal of Physics. Vol. 62. No. 2, 1994, pp.129-133.
[7] Stover, J., 1995. Optical Scattering Measurement and Analysis, pp. 246-252.
[8] Wolfson, R. The lock-in amplifier: A student experiment, American Journal of Physics, Vol. 59, No. 6, 569-572. 1991

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 60. Volumen 4(3). 6 páginas

EL AJUSTE DE CONTROLADORES PID: UNA APROXIMACIÓN MEDIANTE ALGORITMOS INMUNOLÓGICOS

Juan Fernando García Mejía[1], José Antonio García Mejía[2], Carlos Eduardo Torres Reyes[3]

Resumen

En este artículo se muestra una alternativa al problema de sintonización de parámetros de un controlador Proporcional Integral Derivativo mediante una técnica de la inteligencia computacional denominada algoritmo de selección clonal, el cual esta soportado teóricamente en el comportamiento del sistema inmunológico de mamíferos, convirtiendo el problema de diseño de controladores en uno de optimización de parámetros (minimizar error, maximizar robustez, entre otras posibles funciones objetivo) Cabe destacar que como caso de estudio se utiliza el control de velocidad de un motor de corriente directa, en donde el objetivo alcanzado es la mejora el desempeño del error en relación con una técnica denominado ajuste de Zigler-Nichols ampliamente utilizada para este tipo de problemas. La presente propuesta se caracteriza por ser mono objetivo, utilizar un espacio de búsqueda con soluciones factibles codificadas en forma real y ser desarrollada en LabView.

Palabras clave: Algoritmo de Selección Clonal, Controlador PID, LabView

Summary

This article shows an alternative to the problem of tuning parameters for a Proportional Integral Derivative controller using a technique called computational intelligence clonal selection algorithm, which is supported theoretically the behavior of the mammalian immune system, making the problem in a controller design parameter optimization (minimize error, maximize strength, among other possible objective functions) should be noted that as a case study using the speed control of a DC motor, where the goal is the improvement achieved error performance in relation to a technique called adjustment Zigler-Nichols is widely used for such problems. This proposal is characterized as single objects, use a search space with feasible solutions encoded in a real and be developed in LabView.

Keywords: Clonal Selection Algorithm, PID Controller, LabView

Introducción

El controlador PID (Proporcional Integral Derivativo) es usado en la industria moderna, ha mostrado ser robusto en el control de muchas aplicaciones de importancia en la industria. En la actualidad, es posible que éstos se transformen en formas digitales mediante el uso de microprocesadores. [1]

Existen varios métodos de ajuste empírico de controladores PID, basados en mediciones realizadas sobre la planta real. Estos métodos, denominados como clásicos comenzaron a usarse alrededor de 1950. Ziegler y Nichols sugirieron varias reglas para sintonizar los controladores PID (lo cual significa establecer valores K_P, T_D, T_I) con base en las respuestas escalón experimentales o basadas en el valor de que se produce en la estabilidad marginal cuando sólo se usa la acción de control proporcional. Las reglas de Ziegler-Nichols son convenientes cuando no se conocen los modelos matemáticos de las plantas.

Las reglas propuestas por Ziegler y Nichols determinan los valores de las ganancias proporcionales K_p, integrales K_i, derivativas K_d con base en las características de respuesta transitoria de una planta específica. Dicha determinación de los parámetros de los controladores PID o de la sintonización la realizan los ingenieros in situ mediante un modelo experimental.

[1] Universidad Autónoma del Estado de México Centro Universitario UAEMex, Atlacomulco. Carretera Toluca Atlacomulco km 60 Atlacomulco, Estado de Mexico. E-mail: fgarciam@uaemex.mx
[2] Idem 1. E-mail: jagm_1000@live.com.mx
[3] Idem 1. E-mail: eduardotor75@gmail.com

Ahora bien, la finalidad de un controlador —cualesquiera que sea— es reducir las diferencias entre la entrada referencial y la salida en lazo cerrado, esto se observa en las siguientes expresiones caracterizadas en el dominio de la variable z. La salida del controlador se muestra en la ecuación 1

$$y(z) = c(z) * g(z) \tag{1}$$

donde: $y(z)$ – es la salida del sistema
$c(z)$ – espesor de la lámina (mm)
$g(z)$ – la expresión representativa del fenómeno físico que se desea a controlar

De tal forma que el error con respecto a la entrada se expresa en la ecuación 2

$$e(z) = r(z) - y(z) \tag{2}$$

donde: $e(z)$ – es el error del sistema
$r(z)$ – la entrada de referencia
$g(z)$ – la expresión representativa del fenómeno físico que se desea a controlar

En base a la expresión (2), es posible reconsiderar el problema de diseño de controladores, por uno de optimización, el cual puede ser mono ó multi-objetivo, que puede ser tratado mediante técnicas de inteligencia computacional

Inteligencia Computacional

La inteligencia artificial se divide en dos grandes campos, *Hard Computing* y *Soft Computing*, (SC) [2], esta ultima también se denomina inteligencia computacional, y es definida por Lofti Zadeh como Soft Computing es un nuevo enfoque a la computación que es paralelo a la capacidad de la mente humana de razonar y aprender en un ambiente de incertidumbre e imprecisión [3], se caracterizan por ser tolerantes ante estos [4].

Por otra parte, los sistemas inmunológicos artificiales (AIS, por sus siglas en inglés) han sido incorporados recientemente al conjunto de técnicas de SC.

El sistema inmune ha servido como inspiración para solucionar problemas complejos de ingeniería y la ciencia con gran éxito, debido principalmente a que es un sistema de aprendizaje distribuido con interesantes características. Una de las principales tareas del sistema inmune es mantener al organismo sano. Algunos microorganismos (llamados patógenos) que pueden ser reconocidos por el sistema inmune y que además son capaces de dar inicio a la respuesta inmune para eliminarlos [5].

La respuesta defensiva del sistema inmune presenta interesantes características desde el punto de vista del procesamiento de información. Es por ello que se ha usado como inspiración para crear soluciones alternativas a problemas complejos de ingeniería y la ciencia. Esta es un área relativamente nueva a la cual se le llama sistema inmune artificial [6].

Con base a lo anterior se puede definir al sistema inmune artificial como un modelo computacional del aparato inmune biológico que tiene la capacidad de realizar algunas tareas como el reconocimiento de patrones, aprendizaje, adquisición de memoria, generación de diversidad, tolerancia al ruido, generalización, detección distribuida y optimización [7]. Ahora bien, existen tres variantes de AIS, las cuales son:

1. Selección negativa
2. Células dendríticas
3. Teoría de Red inmune
4. Principio de selección clonal

Uno de los mecanismos del sistema inmune que intenta explicar el proceso por el cual se combate contra un antígeno es el llamado principio de selección clonal, propuesto por Mac-Farlane Burnett, el cual establece la idea de que sólo aquellas células inmunes (linfoncitos B) que mejor reaccionen ante el estímulo de un antígeno se clonarán.

Cuando se ha detectado la presencia de algún invasor, aquellos linfoncitos con afinidad más alta con respecto al invasor, sufren un proceso de clonación seguido de una mutación de gran magnitud o hipermutación. Después de esta clonación y mutación los linfoncitos se convierten en grandes productores de anticuerpos que eliminan y neutralizarán a los antígenos invasores.

El exceso de células es eliminado. Sin embargo, una parte de ellas permanece en el organismo circulando por un largo período como células de memoria, de esta forma, cuando se presenta el mismo tipo de antígeno o uno similar, la respuesta del sistema inmune es más rápida y eficiente. A esta respuesta se le llama respuesta secundaria.

El principio o teoría de selección clonal, plantea una explicación de cómo el sistema inmune describe las características básicas de una respuesta inmune a un estímulo antigénico. Este principio establece la idea de que sólo aquellas células que reconocen a los antígenos proliferan; de tal forma son seleccionadas aquellas que tienen la capacidad de reconocerlos. La Selección Clonal opera en las células B y las células T [8].

Las principales características de la teoría de selección clonal son:

- Las nuevas células son copiadas (clonadas) de sus padres, sometidas a un mecanismo de mutación (hipermutación somática).
- Eliminación de los linfoncitos que llevan receptores auto-reactivos.
- La proliferación y diferenciación de las células maduradas con antígenos en contacto.
- La persistencia de clones prohibidos, resistiendo la temprana eliminación por antígenos propios, como la base de enfermedades auto inmunes.

Metodología

En esta sección se muestra la función *fitness* u objetivo que modela el problema de optimización que se utiliza en este trabajo, así como los parámetros empleados en el algoritmo

Para comprobar la propuesta que se trata en este artículo fue necesario plantear una función de transferencia de segundo orden en dominio continuo s (ecuación 3), que es representativa de la velocidad de un motor de corriente directa

$$G(s) = \frac{s+1}{s^2+5s+6} \tag{3}$$

La cual se transforma en dominio z mediante un retenedor de orden 1 con un tiempo de muestreo $T = 0.05$ segundos, dando como resultado la ecuación (4)

$$G(z) = \frac{-0.0079z+0.00837}{z^2-1.96z+1} \tag{4}$$

Ahora bien como esquema de control se utiliza un controlador tipo PID discreto de implementación directa, el cual se define como lo muestra la ecuación 5

$$C(z) = K_p + \frac{K_i T}{2}\frac{z+1}{z-1} + \frac{K_d}{T}\frac{z-1}{z} \tag{5}$$

donde: K_p – ganancia proporcional
K_i – ganancia integral
K_d – ganancia derivativa
T – tiempo de muestreo

Sustituyendo (4) y (5) en 1 se obtiene la ecuación 6

$$y(z) = \left(K_p + \frac{K_i T}{2}\frac{z+1}{z-1} + \frac{K_d}{T}\frac{z-1}{z}\right) * \left(\frac{-0.0079z+0.00837}{z^2+1.96z+1}\right) \tag{6}$$

Sustituyendo (6) en (1) se obtiene la ecuación 7

$$e(z) = 1 - \left(\left(K_p + \frac{K_i T}{2}\frac{z+1}{z-1} + \frac{K_d}{T}\frac{z-1}{z}\right) * \left(\frac{-0.0079z+0.00837}{z^2+1.96z+1}\right)\right) \tag{7}$$

Dado que las variables de interés en el problema de optimización a tratar en este trabajo son las constantes K_p, K_i, K_d, es posible reescribir la ecuación 7 como lo muestra la ecuación 8

$$e(K_p, K_i, K_d) = 1 - \left(\left(K_p + \frac{K_i T}{2}\frac{z+1}{z-1} + \frac{K_d}{T}\frac{z-1}{z}\right) * \left(\frac{-0.0079z+0.00837}{z^2+1.96z+1}\right)\right) \tag{8}$$

Al igual de los algoritmos genéticos, los sistemas inmunológicos artificiales solo maximizan de tal forma que se puede obtener la función objetivo que minimice a la expresión en (8), escribiendo una función objetivo como lo muestra 9

$$f_{fitness}(K_p, K_i, K_d) = \frac{1}{1+\sum e(K_p,K_i,K_d)} \tag{9}$$

La cual se constituye como la función a maximizar en el presente trabajo.

El algoritmo desarrollado para resolver el problema de optimización mencionado en este trabajo, utilizando un sistema inmune artificial, se describe a continuación:

1 Se genera la población inicial de manera aleatoria, para los valores de K_p, K_i, K_d distribuidos a lo largo del espacio de búsqueda de manera uniforme.
2 Con esta población de controladores se evalúan la función objeto — que se considera antígeno — para minimizar el error.
3 Los resultados obtenidos después de evaluar la función objetivo, se ordenarán de mayor a menor, entendiéndose que el valor máximo es el mejor resultado.
4 De éstos valores ordenados se seleccionan n número de resultados para ser clonados (se toman las mejores muestras)
5 Realizar el proceso de mutación con los valores clonados, mediante la ecuación 10

$$x_i^{new} = \left((1-\beta) * x_i\right) + (\beta + x_{random})\,) \tag{10}$$

donde: x_i^{new} – es el nuevo elemento mutado
β – es valor aleatorio entre 0 y 1.
x_i– es la solución clonada
x_{random} – es un valor aleatorio de toda la población de controladores

6 Estos nuevos valores mutados sustituirán a las peores muestras de la población inicial P_i, generando una nueva población de controladores.
7 La población P_i, se evalúa nuevamente con las funciones objetivos.
8 Si los resultados no son óptimos, se vuelve a realizar todo el proceso desde el paso 3, hasta encontrar las mejores soluciones para el controlador.

Resultados

La respuesta a lazo abierto de la ecuación 3 se muestra a continuación en la Fig. 1.

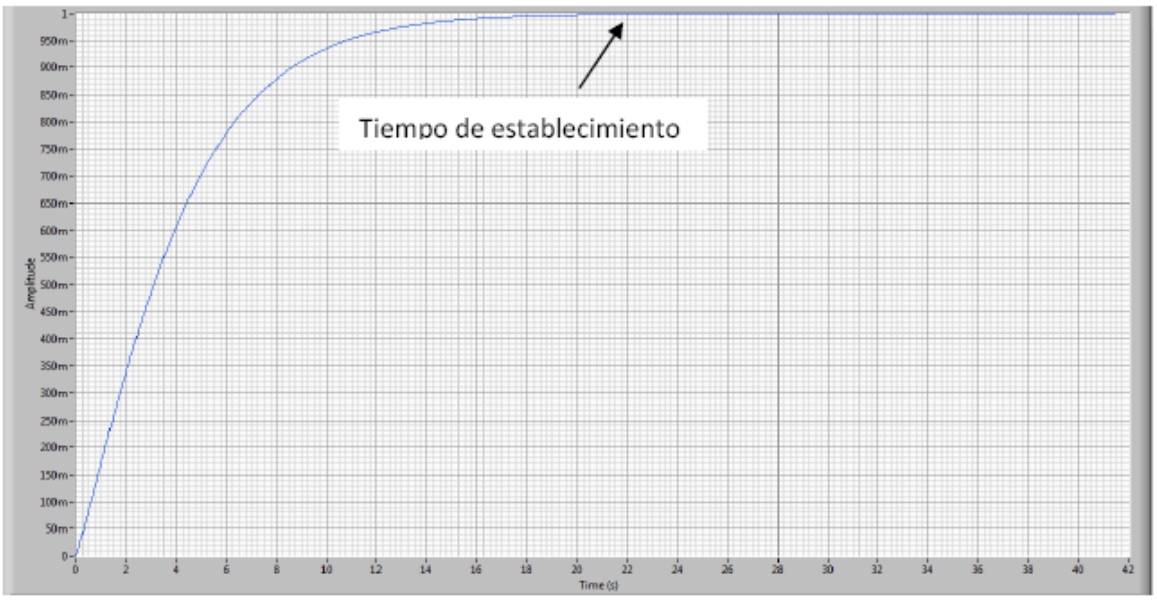


Fig. 1. Respuesta de la planta propuesta en lazo abierto, se muestra el tiempo de establecimiento

Al aplicar un ajuste de los parámetros del controlador por medio del criterio de Nichols, se tiene la respuesta en el tiempo mostrada en la Fig. 2, la cual tiene un sobre impulso de 60% y un tiempo de establecimiento de 0.7 segundos al escalón unitario

Al aplicar el algoritmo propuesto con los parámetros enlistados a continuación se obtiene lo siguiente:

Población inicial = 50
Porcentaje de clones =80%
Numero de iteraciones =150

Lo anterior genera la respuesta en lazo cerrado que se muestra en la Fig. 3, la cual tiene sobre impulso cercano al 90% con un establecimiento de 0.2 segundos, cabe destacar que el error $e(K_p, K_i, K_d)$ también disminuye en función.

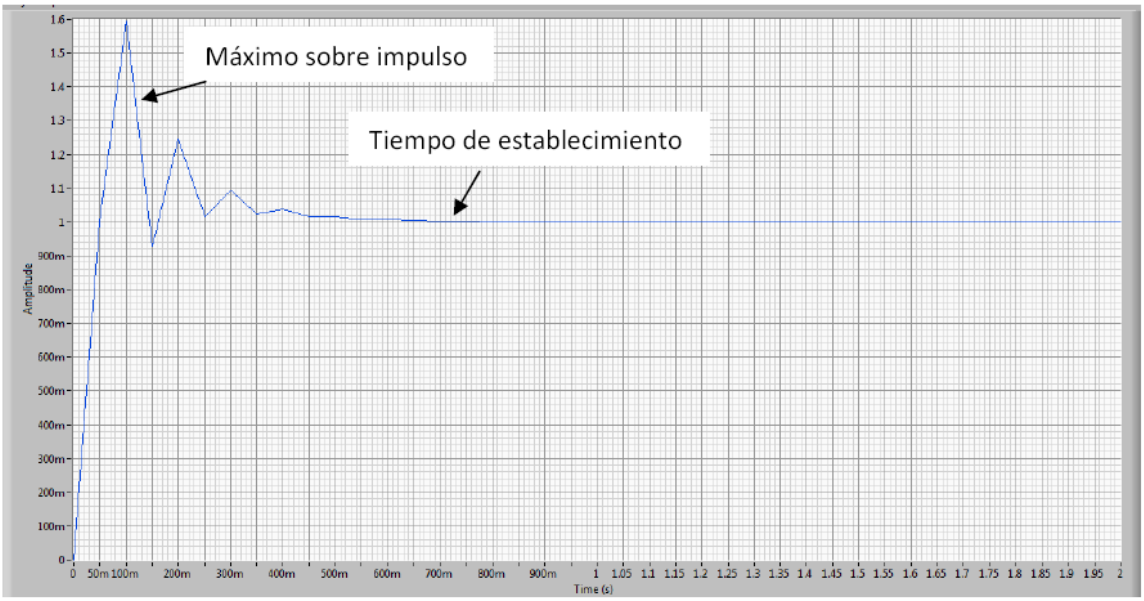


Fig. 2 Respuesta de la planta propuesta con un PID con ajuste de Nichols, mostrando el máximo sobreimpulso y el establecimiento

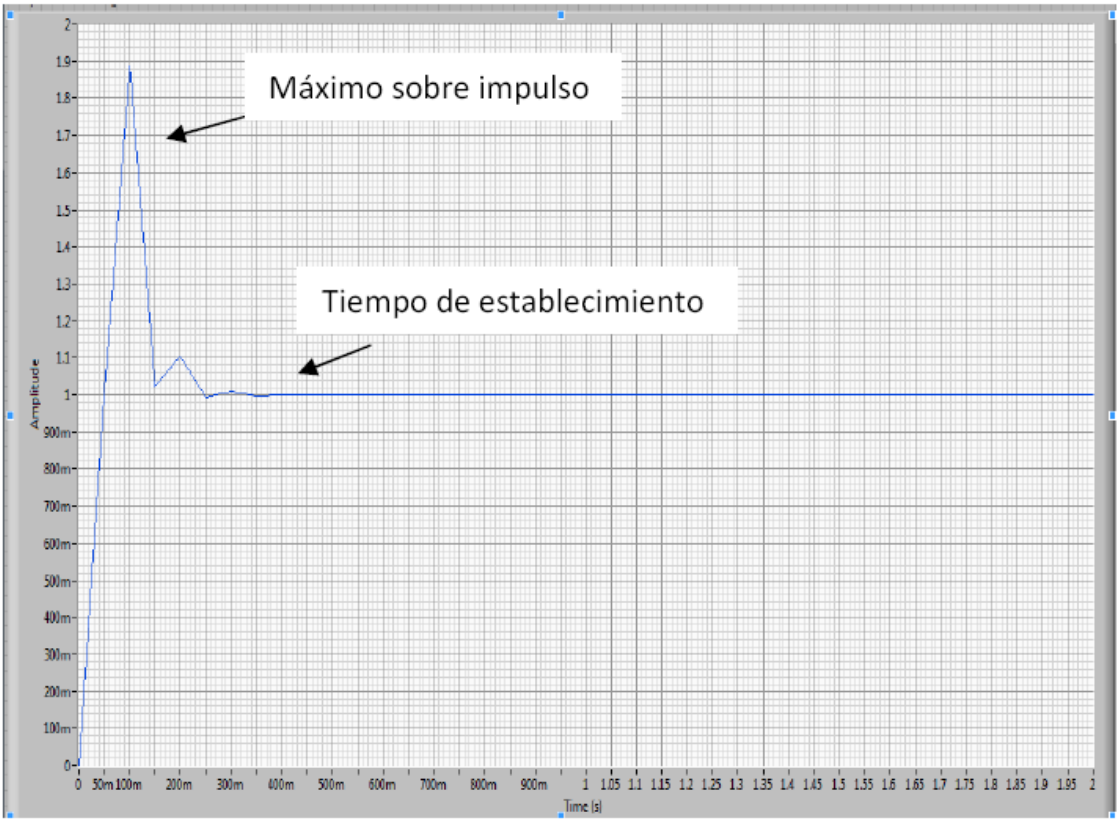


Fig. 3. Respuesta de la planta propuesta con un PID con ajuste por medio del algoritmo propuesto, mostrando el máximo sobreimpulso y el establecimiento

Conclusiones

Los resultados obtenidos mediante este algoritmo fueron satisfactorios, quedando demostrado que utilizando un Sistema Inmune Artificial, genera una mejor solución al problema planteado en este trabajo que cualquier otro método utilizado en la actualidad.

Cabe mencionar que el error de la planta fue minimizada a niveles muy bajos y con un tiempo de establecimiento menor que los obtenidos por las soluciones propuestas por LabView.

Los trabajos a futuro que seguirán a este proyecto, será el de implementar restricciones a las funciones objetivos tanto para la robustez como para el error, así como utilizar codificación binaria. Además se trabajarán con los diferentes métodos del sistema Inmune Artificial mencionados en este trabajo: Red Inmune, Células Dendríticas y Selección Negativa.

Referencias

[1] Ogata K. "Ingeniería de Control Moderna" Prentice Hall 3ra.Edición Pág. 669- 709 USA 2009
[2] Waszczyszyn Zenon (ed) "Advances of Soft Computing in Engineering" Springer 2010 pp 193
[3] Sanghamitra Bandyopadhyay (ed) "Analysis of biological data a soft computing approach"World Scientific Publishing 2007 pp 27
[4] Ahmad Lotfi (ed) "Applications and Science in Soft Computing" Springer 2004 pp 196
[5] Cruz Cortés, Coello Coello."Un Sistema Inmune Artificial para Solucionar Problemas de Optimización Multiobjetivo".
[6] Nunes de Castro, Timmis John. "An introduction to Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Paradigm". Springer-Verlag, 2002.
[7] Nunes de Castro, Von Zuben. "Artificial Immune Systems: Part I – Basic Theory and Aplications". Brazil, December 1999.
[8] Cortés Rivera. "Un Sistema Inmune Artificial para resolver el problema del Job Shop Scheduling". México, 2004.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 63. Volumen 4(6), 1 página.

SISTEMA LÁSER PARA EVALUAR LA UNIFORMIDAD DE ACABADO SUPERFICIAL DE MATERIALES DE INGENIERÍA

Iván Domínguez López[1], Adrián L. García García[1],
Bruno López Pérez[2], Miguel A. Ramírez Hernández[1]

Resumen

En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema electro-mecánico para medir la uniformidad del acabado superficial de materiales de ingeniería. Se utiliza un goniómetro de dos brazos, en uno de ellos se coloca un diodo láser y un detector de normalización, en el otro brazo se coloca el detector de luz láser esparcida. El goniómetro se mueve por medio de un motor de pasos sobre un par de guías lineales, dentro de un intervalo de 100 mm, mientras que el disco de material bajo estudio moverse de 0° a 360° por medio de otro motor de pasos. La luz láser esparcida produce una señal eléctrica que es filtrada por medio de un amplificador lock-in de tipo comercial. El sistema descrito se utilizó para monitorear cambios en el acabado superficial de dos discos de acero lijados con lija de grano 400, uno de forma circular y el otro de manera lineal. En ambos casos se obtuvo una rugosidad promedio del orden de 10^{-7} m, sin embargo los cambios en la intensidad de la señal de luz esparcida muestran una fuerte dependencia del patrón de lijado.

Palabras clave: esparcimiento de luz láser, rugosidad, acabado superficial.

Summary

An electro-mechanical system to measure the uniformity of the surface finish of engineering materials has been developed. A goniometer holds on one of its arms a diode laser and a normalization detector; the laser light scattering detector is placed on the opposite arm. A motorized, linear two rail platform moves the previously described optical setup within a 100 mm range, while the sample disk material under study can be rotated from 0° to 360° using an stepper motor. Scattered laser light produces an electrical signal which is filtered using a commercial brand lock-in amplifier. The described system was used to monitor changes on the surface finish of two disk samples of steel sanded with 400 grit, one circular and the other in a linear fashion, resulting in both cases an average roughness on the order of magnitude of 10^{-7} m. However, changes on the scattered light signal intensity show a strong dependence on the sanding pattern.

Keywords: laser light scattering, roughness, surface finish.

[1] Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada CICATA, Instituto Politécnico Nacional, Cerro Blanco 141, Col. Colinas del Cimatario, Querétaro, México, 76090, +52- 442-229-0804. E-mail: idominguezl@ipn.mx, agarciag@ipn.mx, miguel_angel_chispi@hotmail.com

[2] Universidad Tecnológica de Querétaro UTEQ, Av. Pie de la Cuesta 2501, Unidad Nacional, 76148, +52-442-2096100. E-mail: jiro3z@hotmail.com

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 66. Volumen 4(3), 7 páginas

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA A TRAVÉS DE LAS VARIABLES DE pH, CONDUCTIVIDAD, TEMPERATURA Y OXIGENO DISUELTO

Jacipt Alexander Ramón Valencia[1], Durwin Alexis Rozo Ibañez[2], Reinaldo Almario Ospino[3]

Resumen

En este documento se describe el diseño de un sistema da adquisición, almacenamiento y registrador de datos (Datalogger SADU), con características especiales como: comunicación GSM/GPRS, Bus I2C con extensor, comunicación USB 2.0 con ordenador, sensor de temperatura, conductividad y oxígeno disuelto incorporado, entre otros; estas características brindan al usuario un sistema abierto, que posibilita la incorporación de un mayor número de variables a comparación de los Datalogger tradicionales, actualización del Firmware del Microcontrolador sin necesidad de un programador externo, monitoreo de datos en cualquier lugar donde exista cobertura a la red GSM/GPRS, diseño compacto y mayor versatilidad que la mayoría de los Datalogger.
El sistema permite realizar el monitoreo de las variables por medio de la interfaz Hombre-Maquina localizada en la estación base, los datos enviados por la estación central son recibidos via GSM/GPRS y almacenados en la PC.
Palabras clave: Calidad del agua, Comandos AT, Datalogger, GSM, I2C, Monitoreo de aguas, Visual Studio.

Summary

This paper describes the design of a given acquisition, storage and data recorder (Datalogger SADU), with special features such as GSM / GPRS, with I2C Bus Extender, USB 2.0 communication with a computer, temperature sensor, conductivity and included dissolved oxygen, among others, these features give users an open system that allows the incorporation of a greater number of variables to compare the traditional Datalogger, Microcontroller firmware update without an external programmer, data monitoring anywhere there is coverage to the GSM / GPRS, compact design and greater versatility than most Datalogger. The system enables the monitoring of variables through the Human-Machine interface located at the base station, data sent by the central station are received GSM/ GPRS and stored in the PC.
Keywords: AT commands, GSM Datalogger, I2C, Visual Studio 2010, water monitoring, water quality.

Introducción

Desde 1999 se determinó que en la gestión de los recursos hídricos o hidrosistemas como parte del ambiente natural, en relación con su ambiente socioeconómico, se deben distinguir cuatro niveles de gestión y operación: (1) la gestión operacional, (2) la realización de políticas estratégicas y la planeación, (3) la infraestructura institucional enfocada al monitoreo, la colección y el procesamiento de datos orientado hacia hechos específicos, y (4) el soporte analítico enfocado en la toma de decisiones.

[1] Grupo de Investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo GIAAS, Universidad de Pamplona, Colombia, Tel.: 57-7-5685303 Ext.140, E-mail: jacipt@unipamplona.edu.co
[2] Grupo de Investigación Automatización y Control A&C, Universidad de pamplona, Colombia, Tel.: 57-7-5685303 Ext.140, E-mail: durwinrozo@unipamplona.edu.co
[3] Idem. E-mail: reinaldo.almario@unipamplona.edu.co

Actualmente es reconocido que tales niveles requieren del diseño e implementación sistemas de soporte a decisiones asistidos computacionalmente que permitan, sobre la base de modelos, la simulación prospectiva orientada a la identificación, análisis y evaluación de asignaciones, políticas o planes alternativos.

Lo anterior tiene su base en que la gestión del agua en las cuencas hidrográficas al ser una tarea compleja, que requiere entre otros, del conocimiento de muchas disciplinas, incluidas el análisis de riesgos, análisis de datos, análisis de políticas, modelamiento y simulación espaciales y análisis de decisión, necesita de la implementación de herramientas computacionales avanzadas que den soporte y que faciliten la valoración de situaciones presentes y asistan en el desarrollo y evaluación de soluciones.

En contraste, poca atención se ha dado al desarrollo de sistemas y herramientas que cubran todos los aspectos y procesos relevantes del agua en el entorno de su cuenca hidrográfica como un todo. Esto puede ser explicado en el hecho de que nociones más amplias, como la de gestión integrada del agua sea relativamente reciente (Pratt, et al., 2005; Rasch , et al., 2005; Jeffrey y Gearey, 2006), y a la complejidad del monitoreo, al igual que al análisis de la interacción entre los subsistemas naturales y socio-económicos (Tippett, 2005). En cuanto al soporte analítico de la gestión operacional del agua, los avances de las TI, han generado resultados interesantes que para la fecha se han aplicados con éxito en muchas cuencas hidrográficas del mundo, donde el monitoreo es llevado a cabo sobre una rutina base y los resultados almacenados en bases de datos.

Al respecto existen actualmente, retos interesantes tanto en la homogenización de los métodos del monitoreo y en el análisis de datos, usados por diferentes instituciones y agencias (especialmente en cuencas internacionales), como en hacer que la información esté disponible para cualquiera que esté interesado o involucrado en ella.

La evaluación de la calidad del agua es un proceso que involucra los diversos componentes que interactúan para definir sus características en términos de variables físicas, químicas y biológicas, las autoridades ambientales, instituciones, el sector productivo y particular, requieren información de calidad del agua que permiten tomar decisiones en materia de programas y proyectos encaminados a la protección, conservación y recuperación del recurso hídrico y/o su aprovechamiento para un uso específico. la implementación del dispositivo permite realizar la captura y emisión de datos exactos, confiables y adecuados que establecen las condiciones de calidad del recurso hídrico, con el fin de asegurar la confiabilidad de los resultados; el problema de mantener la comunicación y el muestreo de datos requiere de trabajo interdisciplinario y es de interés en la comunidad científica por todas sus implicaciones tecnológicas (uso, adaptación y desarrollo de las tecnologías y técnicas más avanzadas, aplicaciones prácticas importantes, integración sinérgica de componentes y conocimientos), científicas (aplicación de ciencia básica) y humanas. En la actualidad los sistemas registradores de datos están limitados a registrar variables fijas como la temperatura y la humedad, capacidad de memoria limitada y estructuras complejas para realizar el monitoreo de las variables. Debido a estas limitaciones el sistema está en la capacidad de incluir la mayor cantidad de variables según las necesidades de los usuarios, realizar una comunicación remota utilizando la Red Celular e incorpora una mayor cantidad de memoria para el soporte de la información.

Datalogger de datos por USB

El *Datalogger* diseñado tiene la capacidad de registrar cinco variables analógicas con una resolución de 10bit, entre las cuales el sistema utiliza una para la medición de la humedad relativa. Para extender las aplicaciones del Datalogger se disponen de 5 puertos I^2C que permiten al administrador vincular nuevas variables al sistema, con ventaja de incorporar con una distancia máxima de 5 metros por variable. El sistema integra una memoria del tipo MicroSD de alta capacidad para el almacenamiento de datos, un reloj calendario el cual nos facilita el manejo del tiempo, un sensor de temperatura de manejo del equipo; el sistema facilita la comunicación con el ordenador por puerto USB permitiendo una excelente manipulación con ordenadores portátiles, además de incorporar comunicación RS-232 y modem GSM/GPRS que hace de este sistema un registrador de datos para monitoreo o supervisión en zonas remota.

En la Fig. 1 se puede observar la vista anterior del Datalogger, destacando las siguientes características: 5 puertos para comunicación I^2C de tipo RJ11, un puerto de comunicación USB y RS232, el cerebro utilizado, el PIC18f2550 y otros dispositivos que trabajando en conjunto hacen de este Datalogger una excelente herramienta como registrador de datos.

En la Fig. 2 se observa la vista posterior en la cual se enfatizan las siguientes características: un conector para batería de litio tipo lenteja, un conector para memoria tipo MicroSD y otros dispositivos.

Por lo general los Datalogger son sistemas cerrados que se implementa para el monitoreo de ciertas variables conocidas como se estipulo en el párrafo anterior, esto hace que para diferentes aplicaciones requiere de diferentes Datalogger o uno que integre las necesidades de la aplicación. El Datalogger que se presenta en este artículo es un sistema totalmente abierto, gracias a que incorpora el bus I^2C y permite la actualización del firmware de forma fácil y sencilla utilizando el puerto USB2.0, asi al vincular otra variable, se relaciona esta nueva por el bus I^2C y se actualiza el firmware del Microcontrolador.

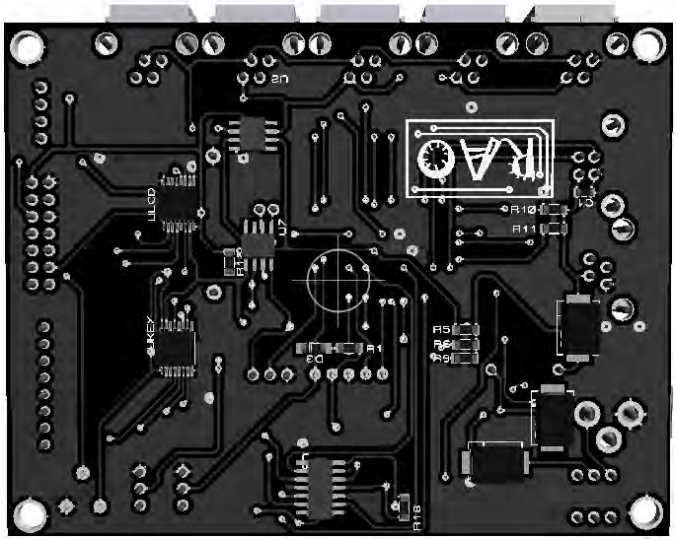


Fig. 1: Vista anterior del Datalogger

El sistema está preparado para funcionar en modo de alarma, que al ocurrir alguna anomalía en los sensores el sistema avisaría enviando un mensaje de texto reportando la anomalía presentada.

Diseño del datalogger

Este sistema está basado en un microcontrolador de la familia de Microchip PIC18f2550 trabajando a una frecuencia máxima de 48Mhz. El sistema Puede adquirir hasta 5 variables analógicas con una resolución de 10bits, incorpora diferentes módulos que se integran para dotar de mejores prestaciones al Datalogger como se presentan a continuación.

Módulo MicroSD

Este es uno de los módulos más importantes que incorpora el Datalogger el cual se encuentra dotado de una Memoria de almacenamiento de 2GB. Este módulo hace al Datalogger versátil para cualquier aplicación en donde no se dispone de un ordenador ni de un sistema de comunicación inalámbrica.

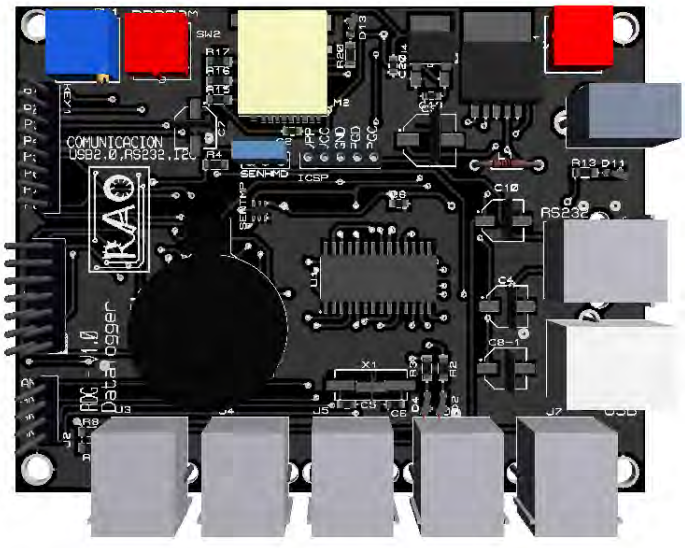


Fig. 2: Vista posterior del Datalogger

La información es almacenada en la memoria en un archivo con la extensión (*.xls), permitiendo poder abrirlo en Microsoft Excel y de forma rápida poder visualizar las tendencias de las variables almacenadas. En la Fig. 3 se puede observar el diseño de este módulo. Dispone de un LED que nos indica la actividad de la memoria, parpadeando cada vez que se utiliza la memoria, ya sea almacenando o extrayendo información, el condensador que se aprecia se utiliza para el filtrado de la línea de alimentación de 3.3V los cuales son requerido para alimentación de la MicroSD.

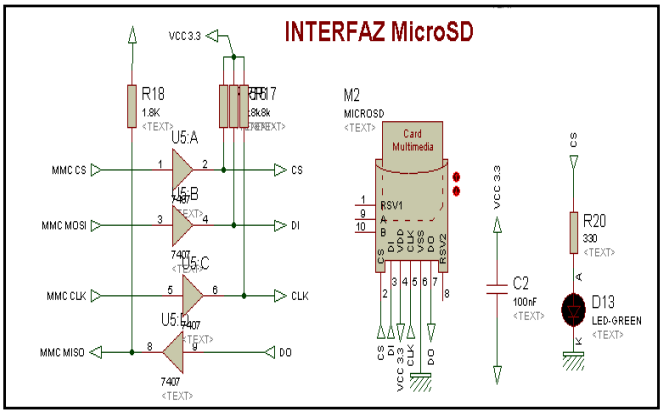


Fig. 3: Interfaz MicroSD.

Módulo de Comunicación I2C

El Datalogger incorpora este Bus en modo Master, se utilizan 2 líneas, una que funciona como señal de Reloj y otra que funciona como señal de Datos. El estándar de este Bus se limita a la capacitancia de la línea la cual no debe ser mayor que 400pf. La máxima distancia que se puede utilizar para conectarlo es de 3.6m, teniendo en cuenta que un cable convencional presenta una capacitancia de 100pf/m y cada dispositivo que se conecte el Bus agrega 20pf de capacitancia. Por lo tanto, si ahora se requiere conectar otro sensor la distancia del cable que une a los sensores se reduce 1.7m por, viendo la capacidad de aumentar el nivel de la capacitancia del bus se utiliza el circuito integrado P82B715 de la Texas Instrument. En la Fig.4 se puede observar el diseño de este módulo del sistema, se puede destacar el dispositivo de expansión del bus I^2C explicado anteriormente con sus respectivas resistencias de pull_up tanto la línea de baja capacitancia como en la de alta capacitancia, 5 conectores del tipo RJ11 hembra.

Módulo de Comunicación Inalámbrica

Para dotar al Datalogger de excelentes prestaciones como sistema de monitoreo, se utilizó la Red GSM/GPRS para la transferencia de datos, permitiendo Implementarlo casi en cualquier parte de Colombia y del mundo donde exista cobertura a la Red.

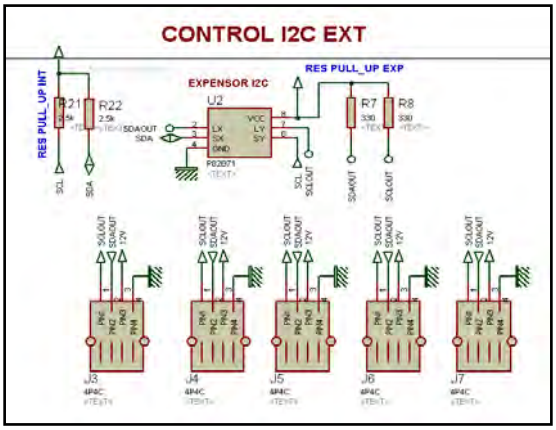


Figura 4: Módulo I^2C.

El Modem GSM utilizado es el FSU005-KB de WAVECOM, permite enviar y recibir datos por medio de la Red celular. Este módulo se controla por simples comandos AT o comandos HAYES. Para obtener los datos se implementó el envió de mensajes de texto a intervalos de tiempos en los cuales se envía información de los variables registradas.

Módulos adicionales

En esta categoría es importante destacar diferentes complementos que hacen del Datalogger un sistema particular para las diferentes aplicaciones. El Datalogger diseñado posee sensores internos que le permite conocer el estado de la humedad relativa y la temperatura ambiente, elementos de gran importancia para determinar el area de trabajo del equipo.

Protocolo de comunicación inalámbrica

El Datalogger está preparado para operar en zonas remotasya que incorpora un modem GSM/GPRS.
La adquisición de las diferentes variables se realiza cada 15 minutos, se almacena en un buffer y se envían los mensajes de texto al Datalogger. Posteriormente el sistema toma dicho buffer el cual se convierte en una cadena de caracteres con información precisa de cada variable, esta cadena de caracteres es almacenada en la MicroSD y enviada atreves del modem GSM/GPRS con comunicación serial RS-232 por medio de simples comandos AT:

1. Saber si el sistema reconoce comandos AT. Desde el Datalogger se envía la palabra "AT\r" donde el modem responde "ok" si es aceptado o responde con "error" si es que no acepta este tipo de comando la instrucción "\r" hace referencia a retorno de carro.
2. Establecer el mensaje en modo de texto para esto enviamos desde el Datalogger el siguiente comando "AT+CMGF=1\r", el modem responde "ok" si es aceptado "error" si no es aceptado.
3. Configurar el centro de mensaje para esto enviamos el comando "AT+CSCA=+573103150***\r", donde el número +573103150*** es el número de centro de mensaje de Comcel. El modem responde "ok" si es aceptado "error" si no es aceptado.
4. Establecer el número de destino para lo cual se envía el siguiente comando "AT+CMGS=311XXXXXXX\r", donde las X corresponden a los numero que conforman al número de destino. El modem responde "ok" si es aceptado "error" si no es aceptado.
5. Crea el mensaje que se va a enviar, para esto enviamos el siguiente comando "BUFFER_MENSAJE+Ctrl-Z" donde BUFFER_MENSAJE es un vector que contiene la información de las variables registradas y Ctrl-Z corresponde el carácter número 26 en la tabla ASCII.

Software de adquisición de datos hidrométricos

El software o Interfaz Hombre Maquina (HMI) fue diseñado en Visual studio 2010, esta plataforma permite la creación de aplicaciones para Windows de forma fácil y rápida, por ser una programación totalmente orientada a objeto.

En la Fig. 5 se observa una representación gráfica de la interfaz. Es un entorno basado en pestaña con colores atractivos y refrescantes, que le brinda al administrador del Datalogger un entorno fácil y agradable de usar. A continuación se presenta una descripción de cada pestaña de la interfaz.

Pestaña de *Inicio*

*E*n esta pestaña se va a inicializar una nueva la cual puede ser directamente desde el Ordenador, de esta forma el sistema puede adquirir hasta 10000 datos por segundo o vía GSM con una tasa mucho menor.

Pestaña *Mostrar datos en una Tabla*

En esta pestaña se organizan todos los datos obtenidos de cada variable en una tabla de esta forma se nos facilita la compresión y análisis de los datos.

Pestañas *Grafica de la Variable X*

En estas pestañas se pueden apreciar las diferentes graficas que determinan el comportamiento de la Variable X donde X es un número que identifica la variable.

Los datos son almacenados en una base de datos automáticamente y con el tiempo configurado por el usuario, la Fig. 6 muestra el registro de datos enviado desde la estación central.

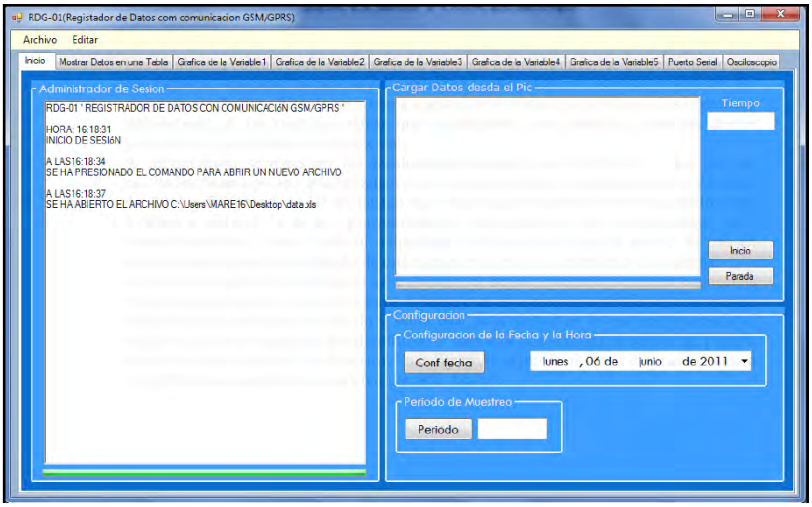
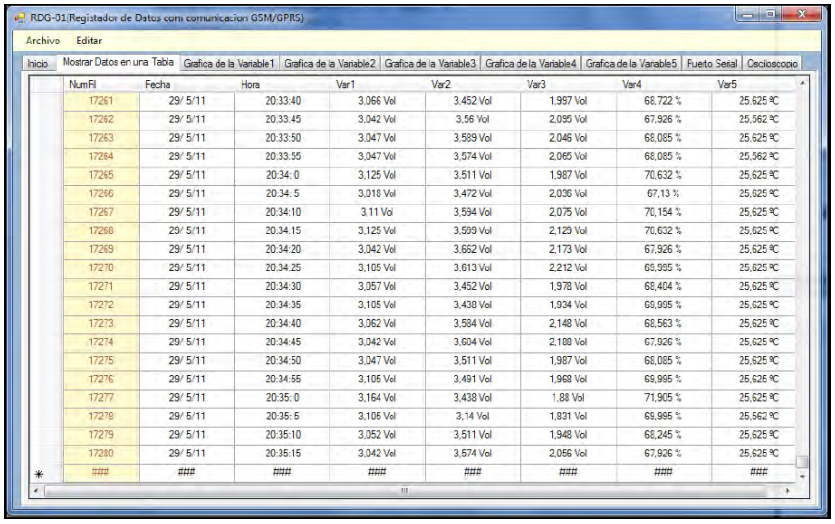


Figura 5. Representación gráfica de la Interfaz.



NumFil	Fecha	Hora	Var1	Var2	Var3	Var4	Var5
17261	29/ 5/11	20:33:40	3,066 Vol	3,452 Vol	1,997 Vol	68,722 %	25,625 ºC
17262	29/ 5/11	20:33:45	3,042 Vol	3,56 Vol	2,095 Vol	67,926 %	25,562 ºC
17263	29/ 5/11	20:33:50	3,047 Vol	3,589 Vol	2,046 Vol	68,085 %	25,625 ºC
17264	29/ 5/11	20:33:55	3,047 Vol	3,574 Vol	2,065 Vol	68,085 %	25,562 ºC
17265	29/ 5/11	20:34: 0	3,125 Vol	3,511 Vol	1,987 Vol	70,632 %	25,625 ºC
17266	29/ 5/11	20:34: 5	3,018 Vol	3,472 Vol	2,036 Vol	67,13 %	25,625 ºC
17267	29/ 5/11	20:34:10	3,11 Vol	3,594 Vol	2,075 Vol	70,154 %	25,625 ºC
17268	29/ 5/11	20:34:15	3,125 Vol	3,599 Vol	2,125 Vol	70,632 %	25,625 ºC
17269	29/ 5/11	20:34:20	3,042 Vol	3,652 Vol	2,173 Vol	67,926 %	25,625 ºC
17270	29/ 5/11	20:34:25	3,105 Vol	3,613 Vol	2,212 Vol	69,995 %	25,625 ºC
17271	29/ 5/11	20:34:30	3,057 Vol	3,452 Vol	1,978 Vol	68,404 %	25,625 ºC
17272	29/ 5/11	20:34:35	3,105 Vol	3,438 Vol	1,934 Vol	69,995 %	25,625 ºC
17273	29/ 5/11	20:34:40	3,062 Vol	3,584 Vol	2,148 Vol	68,563 %	25,625 ºC
17274	29/ 5/11	20:34:45	3,042 Vol	3,604 Vol	2,188 Vol	67,926 %	25,625 ºC
17275	29/ 5/11	20:34:50	3,047 Vol	3,511 Vol	1,987 Vol	68,085 %	25,625 ºC
17276	29/ 5/11	20:34:55	3,105 Vol	3,491 Vol	1,968 Vol	69,995 %	25,625 ºC
17277	29/ 5/11	20:35: 0	3,164 Vol	3,438 Vol	1,88 Vol	71,905 %	25,625 ºC
17278	29/ 5/11	20:35: 5	3,105 Vol	3,14 Vol	1,831 Vol	69,995 %	25,562 ºC
17279	29/ 5/11	20:35:10	3,052 Vol	3,511 Vol	1,948 Vol	68,245 %	25,625 ºC
17280	29/ 5/11	20:35:15	3,042 Vol	3,574 Vol	2,056 Vol	67,926 %	25,625 ºC
###	###	###	###	###	###	###	###

Fig 6. Base de Datos del sistema hidrométrico.

Conclusiones

El sistema diseñado de captura, procesamiento, almacenamiento y supervisión de datos hidrometeorológicos cumple con las expectativas del trabajo, ya que es un sistema de adquisición robusto y autónomo, de bajo costo enfocado al monitoreo de la calidad ambiental.

El diseño y la implementación de una tarjeta de adquisición masiva de datos con interfaz de comunicaciones USB permite un manejo mas adecuado de la informacion.

Para demostrar la versatilidad y potencial de la aplicación, se añadieron distintos tipos de sensores entre los que se encuentran un circuito acondicionador de señal, un sensor analógico integrado y diferentes tipos de sensores digitales. La tarjeta de adquisición masiva de datos permite el funcionamiento coordinado de cada uno de estos sensores, ajustando su modo de funcionamiento a las características de la aplicación concreta.

Una vez analizado el funcionamiento del sistema y haber sometido al producto final a pruebas realistas como las descritas en el apartado anterior, se han puesto de manifiesto los buenos resultados logrados, habiendo superado con creces las expectativas iniciales del problema ambiental que se genera.

La implementación de la memoria MicroSD permite el almacenamiento de información suficiente para determinar las condiciones hidrométricas.

Referencias bibliográficas

- David Muños Martínez (julio del 2006), Implementación de un tarjeta de adquisición masiva de datos por USB.
- P.S. Rasch, N. Ipsen, A. Malmgren-Hansen and B. Mogensen Linking (2005). integrated water resources management and integrated coastal zone management. Water Science & Technology Vol 51 No 11 pp 221–229 © IWA Publishing 2005
- A. Pratt, J. Lønholdt, P.E. Jørgensen, B. Persson, V. Nikolov, R. Ianev, V. Dontchev and M. Klint Implementing the Water Framework Directive in Bulgaria: integrated river basin management on the Black Sea coast. Water Science & Technology Vol 51 No 11 pp 53–61 © IWA Publishing 2005.
- Nick Hanleya,, Robert E. Wrightb, Begona Alvarez-Farizoc Estimating the economic value of improvements in river ecology using choice experiments: an application to the water framework directive. Journal of Environmental Management 78 (2006) 183–193
- Uzcátegui, "El clima y los factores climáticos", Documento Interno, Universidad del Sur del Lago "Jesús María Semprum". Venezuela, 1999.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, "Red meteorológica Colombiana", Documento Publicado en la Web del IDEAM. Colombia, 2005.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, "Conceptos básicos de meteorología", Documento Publicado en la Web del IDEAM. Colombia, 2006.
- Organización Meteorológica Mundial, "Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos", Secretaria de la Organización Meteorológica Mundial. Suiza, 1990.
- W. Cooper y A. Helfrick. "Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición", 2000.
- Creus, "Instrumentación industrial", Editorial Alfaomega, 2001.
- IDEAM, datos Hidrometeorologicos Marzo – Junio 2008.
- A. Jaramillo. "Diagnóstico de algunos elementos ambientales en las microcuencas Agua Blanca, La Colonia, Iscala y la Honda, como parte del plan de manejo y ordenamiento de la cuenca del Rio Pamplonita", Tesis de pregrado, tecnología en saneamiento ambiental, Universidad de pamplona. 2008.
- A. Jaramillo. "Diagnóstico ambiental de la microcuenca ulaga con énfasis en la evaluación del recurso hídrico como parte esencial para la reformulación del POT de la cuenca del rio pamplonita", Tesis de Pregrado, Ingeniería Ambienta, universidad de pamplona. 2007.
- David Muñoz Martínez. "Implementación de una tarjeta de adquisición masiva de datos con interfaz de comunicación USB", Tesis de pregrado, Escuela técnica superior civil e industrial universidad de la laguna. 2006.
- Alberto Lorenzo Bonillo. "Comunicación Punto a Punto vía modem GSM", Tesis de pregrado, Universidad Rovira i Virgili. 2004.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 69. Volumen 4(3), 7 páginas

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN CONTROLADOR NEURONAL MULTIVARIABLE

Agustín Barrera Navarro[1], Alfonso Noriega Ponce[3], Estela Pérez Reséndiz[2], Jorge Ortega Moody[2], H. Chagolla G[1], Eduardo Morales Sánchez[2]

Resumen

Durante los últimos años, las estrategias de control inteligente han tenido un gran desarrollo debido a la potencia actual de los computadores. Estas filosofías de control se pueden aplicar satisfactoriamente cuando es necesaria la regulación de procesos donde no es posible la obtención de un modelo matemático. Dentro de éstas, se encuentran la *Lógica Difusa*, los *Algoritmos Evolutivos* y las *Redes Neuronales Artificiales (RNA)*, siendo estas últimas el tema abordado en el presente trabajo para la regulación de un proceso multivariable de dos entradas con retardo y dos salidas, presentando en estas últimas acoplamiento, retardo e interacción de tipo cuadrático o productos de las señales evidenciando el comportamiento no lineal de la planta. La técnica de entrenamiento de la red neuronal se basa en la retropropagación del error, combinado con el algoritmo delta-bar-delta para incorporar una coeficiente de variación adicional a los pesos sinápticos. Las pruebas se realizaron mediante simulación en Matlab, obteniéndose resultados satisfactorios en la regulación de las variables del sistema utilizado.

Palabras Clave: Factor de aprendizaje, Función de Activación, Gradiente, Pesos Sinápticos, RNA recurrente, Retropropagación

Abstract

During the last years, the development of intelligent control strategies has had a enormous power due to the development of computers. These control strategies can be applied to regulate complex or multivariable processes in which the obtention of a mathematical model is a hard task. Among these control strategies are *fuzzy logic*, *genetic algorithms* and *artificial neural networks (ANN's)*, this work is based on this last strategy to control a multivariable process of two inputs and two outputs, which presents output coupling, delay, and square interaction, in this way the non-linearity of the plant is showed. The process of training the neural network is based on the error backpropagation algorithm combined with the delta-bar-delta algorithm to add a variation rate to the synaptic weights. The tests of the controller were performed by means of simulation in Matlab. The results obtained show that, the control scheme proposed controls accurately the variables of the system presented.

Keywords: Learning factor, activation function, gradient, synaptic weights, RNA recurrent Backpropagation

Introducción

El desarrollo de redes neuronales artificiales (RNA's) tiene un gran potencial debido a que éstas son aproximadores universales de funciones, dicha propiedad brinda la posibilidad de aplicar este tipo de estructuras en el campo del control automático. Las RNA's se pueden diseñar para sistemas monovariables y extenderse hasta el caso de sistemas multivariables.

[1] Instituto Tecnológico de Querétaro. Av. Tecnológico s/n Esq. M. Escobedo. Qro. Centro. Tel. (442) 227 44 18. E-mails: abarrera@mail.itq.edu.mx , hchagollag@hotmail.com

[2] CICATA Querétaro. Cerro Blanco No. 141. Col. Colinas del Cimatario. Tel. (442) 229 0804, Ext. 81002. E-mails: estelaperezr@gmail.com, jorgemoody@gmail.com.

[3] UAQ. Av. 5 de Febrero esquina con Calle Hidalgo s/n, Centro Universitario "Cerro de las Campanas", Querétaro, Qro. Tel. (442) 1921223. E-mail: anoriega@uaq.mx.

Dentro de las topologías de las RNA se pueden observar esquemas de conexiones hacia adelante (*feed-forward*), en donde la información fluye a través de la red desde las entradas hasta las salidas; y esquemas recurrentes, en los cuales la salida de algunas neuronas es realimentada a las neuronas de entrada de la red. El esquema aquí planteado es de naturaleza recurrente o retroalimentada, lo que le brinda a la red cierta capacidad de memoria a corto plazo. Ello implica que, durante el proceso de aprendizaje la red considera no sólo los datos provenientes de la capa de entrada, sino también los de la capa de salida. Esta característica le brinda a las redes neuronales recurrentes la capacidad de ser utilizadas en sistemas e naturaleza no lineal.

Las condiciones para caracterizar una RNA, se basan en criterios suficientes para el desarrollo de las mismas, tales como, tener una sola capa oculta, el número de entradas debe ser como máximo el número de neuronas en la capa oculta más uno.

Otra consideración de suma importancia es, el control del factor de aprendizaje (η), el cual suele estar comprendido entre 0 y 1. Ello debido a que, un factor de aprendizaje muy grande puede generar demasiada oscilación y sobrepaso en la planta a controlar, mientras que, un factor de aprendizaje demasiado pequeño generará un tiempo de estabilización demasiado largo. Una opción adecuada es iniciar con un factor de aprendizaje relativamente alto y conforme el error en el control se va reduciendo reducir también el factor de aprendizaje, hasta que en determinado momento considerando un nivel de error predeterminado el factor de aprendizaje se anula, con lo cual el entrenamiento se detiene. Esta estrategia en la variación de η resulta una herramienta útil, más no es una condición necesaria.

Control Neuronal Recurrente Multivariable

En la Fig. 1, se muestra un diagrama general del controlador neuronal propuesto, el cual tiene como característica principal que toma como realimentación los errores de regulación [1].

Por otro lado, la Fig. 2 muestra la topología de la RNA utilizada en este trabajo, se trata de una red neuronal recurrente con 4 entradas, 3 neuronas en la capa oculta y 2 en la capa de salida, correspondientes cada una al número de variables de la planta a controlar. El algoritmo de aprendizaje utilizado se presenta a continuación.

Así, al algoritmo de aprendizaje de la red neuronal se presenta a continuación [1]. El Error de salida del proceso es:

$$e_k(t) = y_{rk}(t) - y_k(t) \tag{1}$$

La salida de las neuronas de la capa oculta es:

$$X_j(t) = \frac{1}{1+e^{-S_j}}, \quad j = 1,2,3,.. \tag{2}$$

Donde el término S_j está dado por:

$$S_j(t) = W_j^D X_j(t-1) + \sum_{i=1}^{n} W_{ij}^I I_i(t) \tag{3}$$

Las entradas utilizadas para el entrenamiento de la red están dadas por:

$$I_i(t) = e_k(t), e_k(t-1) \ldots e_k(t-n-1) \tag{4}$$

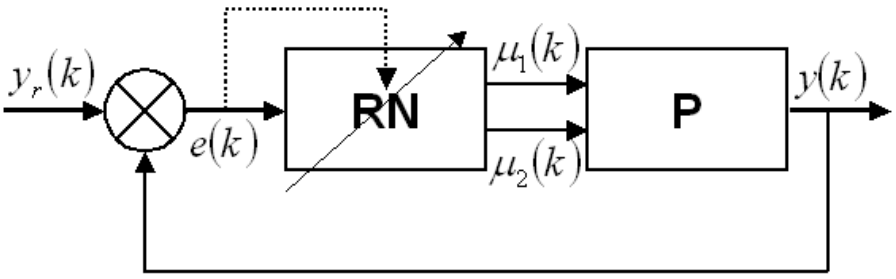


Fig. 1.- Esquema de control

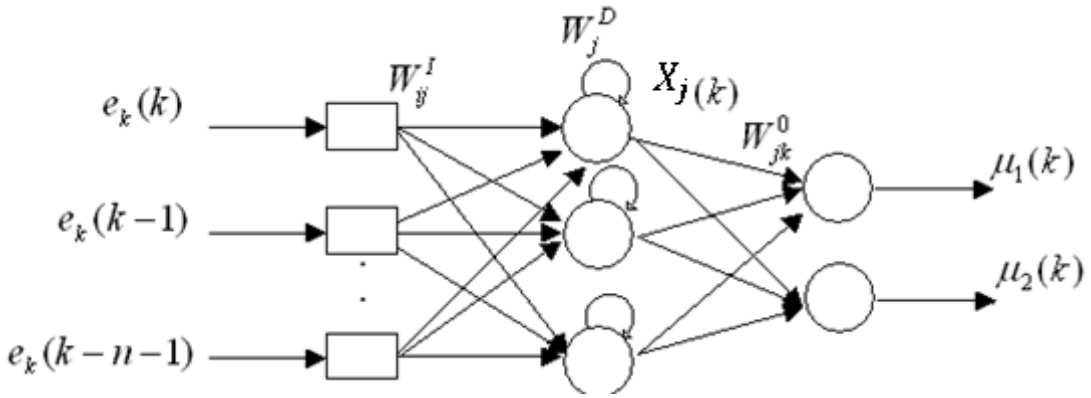


Fig. 2.- Esquema de RNA Utilizado

La salida de la red está dada por la expresión:

$$\mu_k(t) = \sum_{j=1}^{m} W_{jk}^0 X_j \tag{5}$$

Se propone una función de minimización del error de la forma:

$$E(t) = \frac{1}{2}\left[y_{rk} - y_k\right]^2 \tag{6}$$

Dado que el gradiente brinda la posibilidad de moverse en la dirección de más rápido crecimiento de la función, para moverse en la dirección de descenso de la función, es necesario moverse en la dirección negativa del gradiente de la función 6, tal como se presenta en la ecuación 7.

$$-\nabla E(k) = -\left[\frac{\partial E}{\partial W_{jk}^0}\right], \quad -\left[\frac{\partial E}{\partial W_j^D}\right], \quad -\left[\frac{\partial E}{\partial W_{ij}^I}\right] \tag{7}$$

El cálculo del gradiente fue realizado mediante derivadas parciales, en este caso respecto a los pesos sinápticos de la RNA [1-3].

Los pesos sinápticos pueden ser actualizados de acuerdo a la siguiente expresión:

$$W(t) = W(t-1) + \eta\alpha(t)\left(-\left[\frac{\partial E}{\partial W}\right]\right) \tag{8}$$

donde η es el coeficiente de aprendizaje, el cual se encuentra de manera general, entre un valor de 0 y 1, y $\alpha(t)$ es la tasa de variación de los pesos sinápticos.

Finalmente, los pesos sinápticos de las capas de entrada, oculta y salida, son obtenidos mediante las siguientes ecuaciones derivadas de 8.

$$\left[\frac{\partial E}{\partial W_{jk}^0}\right] = \frac{\partial E}{\partial e_k} \cdot \frac{\partial e_k}{\partial e_{\mu k}} \cdot \frac{\partial e_{\mu k}}{\partial \mu_k} \cdot \frac{\partial \mu_k}{\partial W_{jk}^0} = -e_k \eta X_j \tag{9}$$

$$W_{jk}^0(t) = W_{jk}^0(t-1) + \eta e_k X_j \tag{10}$$

$$\left[\frac{\partial E}{\partial W_j^D}\right] = \frac{\partial E}{\partial e_k} \cdot \frac{\partial e_k}{\partial e_{\mu k}} \cdot \frac{\partial e_{\mu k}}{\partial \mu_k} \cdot \frac{\partial \mu_k}{\partial X_j} \cdot \frac{\partial X_j}{\partial S_j} \cdot \frac{\partial S_j}{\partial W_j^D} \tag{11}$$

$$\text{Sea } \delta_j(t) = \frac{\partial X_j}{\partial S_j} \cdot \frac{\partial S_J}{\partial W_j^d}, \delta_j(0) = 0 \ , \tag{12}$$

$$\delta_j(t) = X_j\left(1 - X_j\right)\left[X_j(t-1) + W_j^D \delta_j(t-1)\right] \tag{13}$$

$$\frac{\partial E}{\partial W_j^D} = -e_k \cdot \frac{\partial e_k}{\partial e_{\mu k}} \cdot W_{jk}^0 \cdot X_j\left[1 - X_j\right]\left[X_j(t-1) + W_j^D \delta_j(t-1)\right] \tag{14}$$

$$\left[\frac{\partial E}{\partial W_j^D}\right] = -e_k \eta \alpha(t) X_j W_{jk}^0 \delta_j(t) \tag{15}$$

$$W_j^D(t) = W_j^D(t-1) + e_k \eta \alpha(t) X_j W_{jk}^0 \delta_j(t) \tag{16}$$

$$\left[\frac{\partial E}{\partial W_{ij}^I}\right] = \frac{\partial E}{\partial e_k} \cdot \frac{\partial e_k}{\partial e_{\mu k}} \cdot \frac{\partial e_{\mu k}}{\partial \mu_k} \cdot \frac{\partial \mu_k}{\partial X_j} \cdot \frac{\partial X_j}{\partial S_j} \cdot \frac{\partial S_j}{\partial W_{ij}^I} \tag{17}$$

Sea:
$$\rho_{ij}(t) = \frac{\delta X_j}{\delta S_j}, \frac{\delta S_j}{\delta W_{ij}^I}, \rho_{ij}(0) = 0 \tag{18}$$

$$\rho_{ij}(t) = X_j\left(1 - X_j\right)\left[\sum_{i=1}^{n} I_i + W_j^D \rho_{ij}(t-1)\right] \tag{19}$$

$$\frac{\delta E}{\delta W_{ij}^I} = -e_k \eta W_{jk}^0 \rho_{ij}(t) \tag{20}$$

$$W_{ij}^I(t) = W_{ij}^I(t-1) + e_k \eta W_{jk}^0 \rho_{ij}(t) \tag{21}$$

Las expresiones $\rho_{ij}(t)$ y $\delta_j(t)$ son ecuaciones recursivas dinámicas.

Tasa de variación de los pesos α

Incorporando una tasa de cambio variable a los pesos sinápticos se introduce una modificación al algoritmo de retropropagación para mejorar su desempeño. Esta variación, puede ser incorporada a todos los pesos sinápticos, pero en este trabajo solo se ha incorporado esta modificación a los pesos de la capa oculta W_j^D .

El cálculo del coeficiente α inicia de la siguiente forma usando la regla delta-bar-delta [6].

$$\text{Sea } \frac{\delta E}{\delta W} = -\Delta_J \tag{22}$$

Sea:
$$\Delta_j^* = (1-\beta)\Delta_j + \beta \Delta_j(t-1) \tag{23}$$

La tasa de variación $\alpha(t)$ se define de la siguiente forma:

$$\alpha(t) = \begin{cases} \alpha(t) + \kappa, Si \quad \Delta_j \Delta_j(t-1)^* > 0 \\ (1-\gamma)\alpha(t), Si \quad \Delta_j \Delta_j(t-1)^* < 0 \\ \alpha(t)\, Para \quad cualquier\ otro \quad caso \end{cases} \tag{24}$$

donde κ, β, γ son especificados por el usuario en un intervalo de 0 a 1.

Pruebas del Controlador

Las pruebas del controlador neuronal multivariable han sido realizadas a través de simulaciones en el software Matlab, sobre un sistema multivariable de dos entradas y dos salidas [5] tal como se muestra en la Fig. 3. Es importante mencionar que, este sistema se ha utilizado solamente para fines de simulación.

Las variables y_1 y y_2, representan las salidas del sistema, mientras que las variables μ_1 y μ_2 las entradas del mismo.

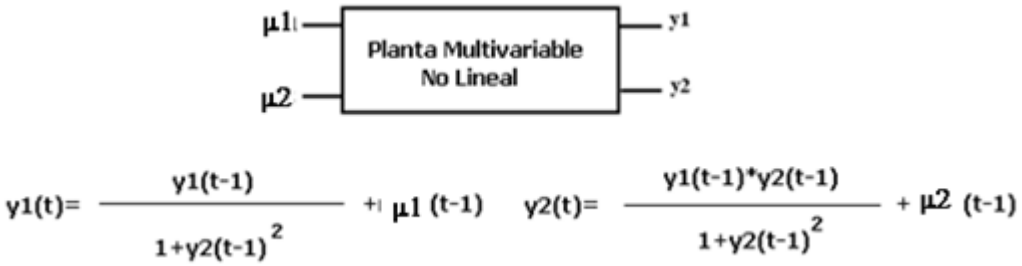


Fig. 3.- Planta Utilizada con fines de Simulación

En la primera prueba realizada se consideró un valor de referencia de 1 tanto para la primera como para la segunda entrada, además de un factor de aprendizaje de η=0.05 tal como se muestra en la Fig. 4.

En esta prueba, se puede observar que el controlador tiene la capacidad de regular las salidas de la planta, con un error en estado permanente bajo. La velocidad de estabilización de la primera salida es lenta debido al factor de aprendizaje y el esfuerzo del control es aceptable.

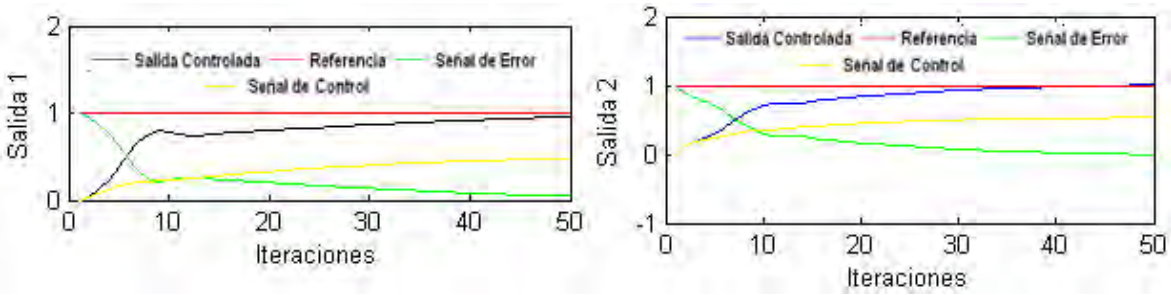


Fig. 4.- Prueba con η= 0.05

La siguiente prueba se realizó considerando los mismos valores de referencias que en la prueba anterior, sin embargo, se eligió un factor de aprendizaje de η =0.1, el resultado se aprecia en la Fig. 5.

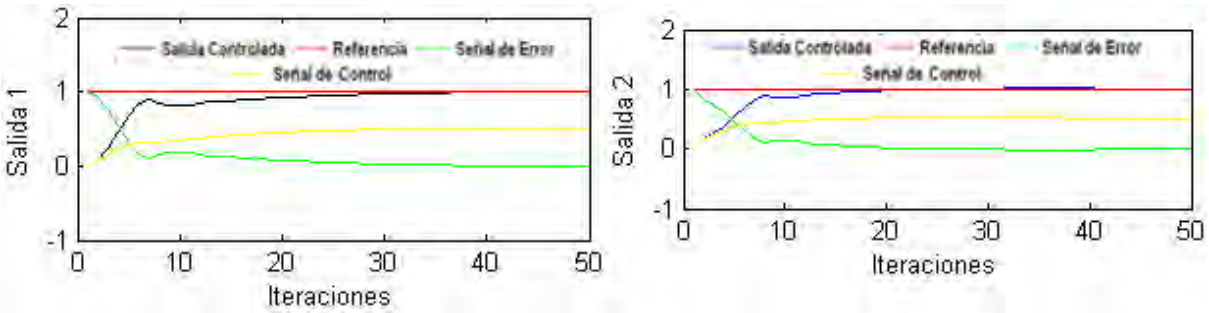


Fig. 5.- Prueba con η = 0.1

En esta prueba de la Fig. 5 se observa el efecto que se genera al incrementar el factor de aprendizaje, el cual acelera el tiempo de respuesta del sistema. El error en estado estable es prácticamente cero y el esfuerzo de control sigue siendo adecuado.

La siguiente prueba se realizó con referencias iniciales de 0.7 para y1 y 0.9 para y2 con un factor de η =0.1, a su vez durante la ejecución la referencia de y1 cambia a un valor de 0.8 y la de y2 a 0.6 tal como se muestra en la Fig. 6.

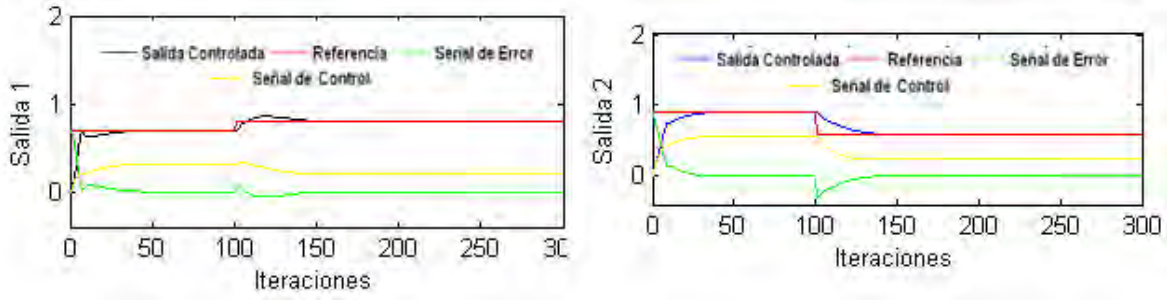


Fig. 6.- Prueba con η = 0.1 y Referencias Diferentes

En esta prueba se puede observar que la Red posee la capacidad de reajustar rápidamente sus pesos sinápticos para llevar la regulación de las variables de salida de la planta a los nuevos valores de consigna. El error en estado estable sigue siendo bajo, y se genera un comportamiento subamortiguado en la salida 1 mientras que en la salida 2 es amortiguado.

En la siguiente prueba, se tienen ambas referencias fijadas en un valor de 1, un factor de aprendizaje de .1 y se aplica una perturbación a la salida 1 con un valor de .5 con el objetivo de simular un incremento de carga. La perturbación aplicada es momentánea en la iteración número 100 como se observa en la Fig. 7.

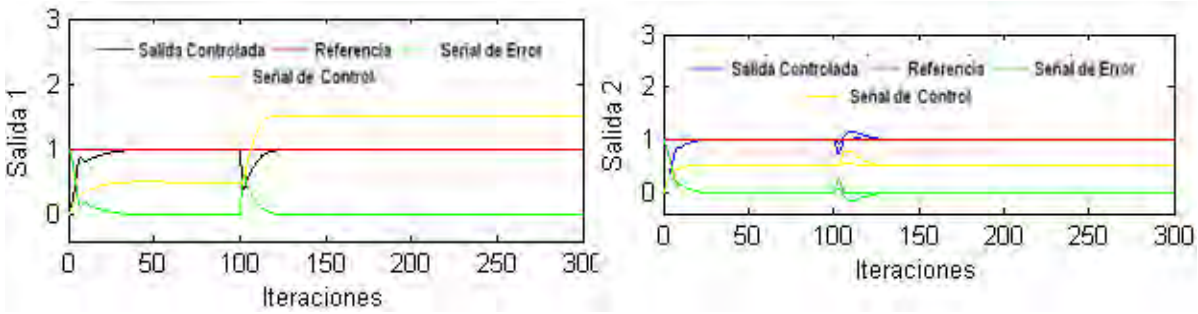


Fig. 7.- Prueba con η = 0.1, Referencias iguales y Perturbación en salida 1

En la prueba de la Fig. 7, se observa que el Controlador Neuronal posee la capacidad de compensar el efecto de carga generado por la presencia de perturbaciones en la planta. Así mismo, se sigue manteniendo la regulación con un error en estado estable de cero, la señales de control no presentan un comportamiento agresivo ni oscilatorio, manifestando esta situación el adecuado ajuste de los parámetros de la red para mantener la regulación en las consignas especificadas.

Conclusiones

En base a las pruebas de la RNA, realizadas sobre el sistema multivariable presentado [5], se observa que el tiempo de asentamiento y sobrepaso son directamente proporcionales al factor de aprendizaje η. Por otro lado, y debido a que el sistema controlado es un sistema de variables acopladas, se observa que al introducir cambios en las referencias se genera un efecto de perturbación, el cual, la red tiene la capacidad de compensar, llevando a cada una de las salidas de la planta al valor de referencia requerido. El control Neuronal propuesto, tiene la capacidad de mantener la regulación de las variables del proceso ante la presencia de perturbaciones.

Adicionalmente, se observó que la incorporación de la regla delta-bar-delta al los pesos de retardo, mejora la rapidez con la que la RNA controla la planta debido a que se le brinda velocidad al algoritmo de

retropropagación. Es necesario indicar también, que la velocidad en el proceso de regulación se mejora al realizar un entrenamiento previo y realizando una precarga de los pesos sinápticos obtenidos.

Finalmente, es posible afirmar que el control digital directo basado en RNA´s propuesto en este trabajo, tiene la capacidad de controlar procesos multvariables, no lineales y de variables acopladas, ello debido a que, la red neuronal utilizada es de naturaleza recurrente.

Trabajo Futuro

Como una aplicación al algoritmo de RNA desarrollado, se pretende implementar el controlador presentado para la regulación de las variables de un sistema de generación de agua potable, el cual posee las características de ser multivariable, no lineal y con acoplamiento de las variables.

Referencias

[1] Noriega A., Gómez A., Aguado A., Salas R. Self tunning Neural Controller and its Application to a Nonlinear System. Research in Computer Science. Vol. 24. Páginas 198-210. 2006

[2] Martín del Brio B.,Sanz Molina A. Redes Neuronales y Sistemas Borrosos. 3ª Ed.2007. Alfaomega. 403 páginas.

[3] Anderson J. Redes Neurales. 1ª Ed.2007. Alfaomega. 616 páginas.

[4] Haykin S. Neural Networks. A Comprehensive Foundation. 2ª Ed. 1999. Prentice Hall. 842 páginas.

[5] Trabelsi A, Lafont F, Kamoun M, Enea G. Identification of nonlinear multivariable systems by adaptive fuzzy Takagi-Sugeno Model . International Journal of Computational Cognition. Vol 2 . Septiembre 2004. Páginas 137–153.

[6] Laurene F. Fundamentals Of Neural Networks. Architectures, Algorithms and Aplications. 1ª Ed.1994. Prentice Hall. 461pages.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 70. Volumen 4(3), 6 páginas

ARQUITECTURA DE FORMACIÓN DE HAZ MATRIZ BUTLER PARA SISTEMAS DE COMUNICACIONES SATELITALES

Christian Ricardo Rueda Zaragoza[1], Alejandro Iturri Hinojosa y Cirilo León Vega

Resumen

El trabajo presenta las consideraciones para el diseño de red conformadora de haz de matriz Butler utilizando el algoritmo de la transformada rápida de Fourier (FFT). Se exhiben las propiedades del método destacando la reducción del número de cálculos y número de elementos que llega a tener la matriz Butler BFN. Un ejemplo de aplicación de la BFN de matriz Butler está en los satélites de los sistemas de comunicaciones móviles IRIDIUM y Odyssey. Estos proporcionan cobertura global a través de múltiples haces, cada haz muy puntual y directivo. Lo cual permite el reuso de frecuencias para aumentar la capacidad de los sistemas. Los móviles terrestres trans-receptores se benefician de una potencia isotrópica radiada efectiva satelital y un factor de mérito G/T muy elevadas.

Palabras clave: Matriz Butler, Red de Conformación de Haz BFN, FFT.

Abstract

Designs considerations for Butler Matrix Beamforming Networks (BFN) using the Fast Fourier Transform algorithm (FFT) are presented. The properties of the method are exhibit, highlighting the reduction of number of calculus and the number of elements that the Butler Matrix BFN will have. The main application of the Butler Matrix is in mobile satellite communication systems like IRIDIUM and Odyssey. These provide global coverage through multi-beams, each beam very directive. It permits the reuse of frequencies to improve systems capacity. Most portable transceivers benefits from two very high performance factors: satellite effective isotropic radiation power (EIRP) and its figure of merit (G/T).

Keywords: Buttler Matrix, Beamforming Network BFN, FFT

Introducción

La matriz Butler formadora de haz ha sido ampliamente utilizada por muchos años por los sistemas de radares, sistemas electrónicos militares y sistemas satelitales. Por ejemplo, Motorola utiliza una red de formación de haz de matriz Butler de dos dimensiones en su sistema de antena multihaz con el cual genera una huella muy aguda dentro de cada área de cobertura [1].

Una red de formación de haz (BFN) provee esencialmente la amplitud y fase necesarias de las señales en los elementos radiadores para producir los haces deseados. En particular, para un arreglo de Multiple haz, una BFN apropiada es vital para distribuir las señales a los puertos radiadores [2].

Una BFN simple utiliza circuitos pasivos de divisor de potencia. Una BFN de matriz Butler es diseñada utilizando la Transformada Rápida de Fourier (FFT). El algoritmo de diseño permite un número mínimo de cálculos para el desempeño de la transformada de Fourier de una función. Se puede disminuir el número de componentes de una BFN aplicado el principio de la transformada rápida de Fourier. A continuación se presenta el método para el diseño de la BFN Butler descrito por Bhattacharyya en [2].

Matriz formadora de haz Buttler

Este tipo formador de haz matriz Butler se utiliza cuando el arreglo necesita trasmitir o recibir múltiples haces simultáneamente de direcciones determinadas. Cada haz se asocia con una señal de entrada en el puerto de entrada, comúnmente conocido como el puerto de haces de la BFN, como se muestra en la Fig. 1.

[1] ICE-ESIME Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional, México D.F. E-mail: xtremestyle_chris89@hotmail.com

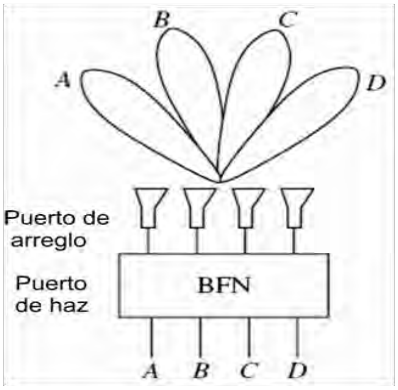


Figura 1. Diagrama esquemático de una matriz Butler [2]

El número de elementos del arreglo en el puerto de arreglo es igual a 2^m, donde m es un entero positivo. Los haces son mutuamente ortogonales, es decir, cada haz es controlado de forma independiente, incluso cuando los haces tienen la misma frecuencia de portadora.

Haces ortogonales

Una BFN de matriz Butler es empleada para producir múltiples haces ortogonales, es decir, que los haces no se acoplan. Esta ortogonalidad está garantizada a través de vectores de excitación mutuamente ortogonales en el puerto serie. En la Fig. 1, el caso de estudio de este trabajo, la BFN produce cuatro haces simultáneos A, B, C y D.

La matriz Butler produce una amplitud de excitación uniforme para cada haz, así que los vectores de excitación complejos pueden ser expresados como:

$$\begin{aligned}[a_1, a_2, a_3, a_4] &= [1, \exp(-j\psi_a), \exp(-j2\psi_a), \exp(-j3\psi_a)] \\ [b_1, b_2, b_3, b_4] &= [1, \exp(-j\psi_b), \exp(-j2\psi_b), \exp(-j3\psi_b)] \\ [c_1, c_2, c_3, c_4] &= [1, \exp(-j\psi_c), \exp(-j2\psi_c), \exp(-j3\psi_c)] \\ [\boldsymbol{d_1}, \boldsymbol{d_2}, \boldsymbol{d_3}, \boldsymbol{d_4}] &= [\mathbf{1}, \mathbf{exp}(-\boldsymbol{j\psi_d}), \mathbf{exp}(-\boldsymbol{j2\psi_d}), \mathbf{exp}(-\boldsymbol{j3\psi_d})] \end{aligned} \quad (1)$$

Los ángulos de fase están en progresión aritmética, los haces están igualmente espaciados. Las posiciones de los haces están dadas por:

$$\begin{aligned} k_0 d sin\theta_a = \psi_a \qquad k_0 d sin\theta_b = \psi_b \\ k_0 d sin\theta_c = \psi_c \qquad k_0 d sin\theta_d = \psi_d \end{aligned} \quad (2)$$

donde d es el espacio del elemento del arreglo y k0 es el número de onda en el espacio libre. Para N haces ortogonales la distancia entre el pico del haz adyacente en el espacio $\sin\theta$ es:

$$\Delta sin\theta_{peak} = \frac{2\pi}{N k_0 d} \quad (3)$$

La Fig. 2 muestra los patrones de radiación de 4 haces ortogonales en el espacio $\sin\theta$. El punto de cruce entre dos haces adyacentes ocurre en aproximadamente 3.9dB debajo del pico del haz. Este nivel varia ligeramente con N .

Transformada de Fourier y coeficientes de excitación

Para obtener haces ortogonales, los voltajes del puerto de arreglo y del puerto de haz están relacionados a través de la transformación de Fourier. El voltaje total del vector en el puerto de arreglo debe ser igual a la suma de los vectores individuales dados en (1). Por lo tanto para el n-ésimo elemento del arreglo (n=0,1,2,3) el voltaje de excitación debe estar dado por:

$$\boldsymbol{E_n} = \boldsymbol{V_a}\,\mathbf{exp}(-\boldsymbol{jn\psi_a}) + \boldsymbol{V_b}\,\mathbf{exp}(-\boldsymbol{jn\psi_b}) + \cdots \quad (4)$$

Introducimos los coeficientes $\boldsymbol{V_a}, \boldsymbol{V_b}, \boldsymbol{V_c}\ \boldsymbol{y}\ \boldsymbol{V_d}$ para permitir niveles independientes de voltaje para los haces. Para simplificar suponemos que $\boldsymbol{\psi_a} = \mathbf{0}$.

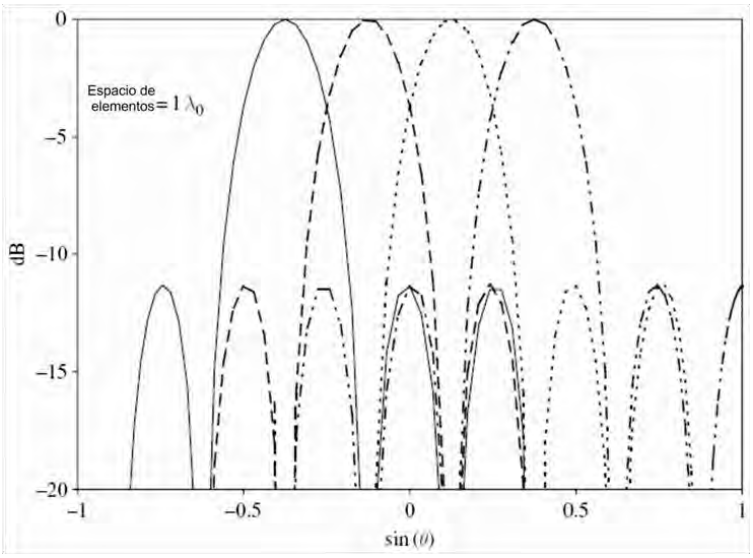


Figura 2. Patrones de radiación de 4 haces ortogonales [2]

Las diferencias de fase $\boldsymbol{\psi_a, \psi_b, \psi_c}$ **y** $\boldsymbol{\psi_d}$ están en progresión aritmética y difieren en $\boldsymbol{\pi/2}$ para el caso de 4 haces. Es decir que $\boldsymbol{\psi_b = \psi_a + \pi/2}$ y $\boldsymbol{\psi_d = \psi_a + 3\pi/2}$.

Con esta consideración obtenemos el coeficiente de excitación para el n-ésimo elemento del arreglo:

$$\boldsymbol{E_n = V_a + V_b exp(-jn\omega) + V_c exp(-2jn\omega) + V_d exp(-3jn\omega)} \quad (5)$$

donde $\boldsymbol{\omega = \pi/2}$.

El lado derecho de (5) puede ser representado por la FT de una serie de funciones delta de Dirac dadas por:

$$\boldsymbol{f(x) = V_a \delta(x) + V_b \delta(x-1) + V_c \delta(x-2) + V_d \delta(x-3)} \quad (6)$$

Específicamente, f(x) corresponde a los voltajes de entrada en el puerto de haz. De este modo establecemos que para haces ortogonales los voltajes de excitación en el puerto de arreglo y en el puerto de haz están relacionados a través de la FT. Esto es mostrado en la Fig. 3.

El primer objetivo de una BFN es simular la FT a través de un circuito RF. Un algoritmo eficiente ayuda a reducir el número de componentes de RF.

El voltaje de excitación de una antena en (5) es la suma de 4 términos. Cada término (excepto el primero) es producto de dos factores: un número complejo y un exponente complejo. Si se desea calcular los cuatro voltajes de excitación, entonces se debe realizar 3 x 4 = 12 operaciones de multiplicación. Para N haces, el número requerido de multiplicaciones es $N(N-1)$. Un circuito RF, como un equipo analógico, realiza este cálculo. La multiplicación de un exponente complejo significa un desplazamiento de fase el cual puede ser realizado por un desplazador de fase. Por lo tanto el circuito RF debe tener un número de desplazadores de fase igual al número de multiplicaciones. Los cálculos de los voltajes de excitación de una antena empleando la FFT reducirán el número de multiplicaciones. Esto implica que un diseño de BFN con un menor número de desplazadores de fase puede ser llevado a cabo siguiendo los lineamientos de un algoritmo FFT.

Para entender la operación de un algoritmo FFT, consideramos el voltaje de entrada del elemento de la n-ésima antena dado en (5). Por lo tanto E_n se repite cada cuatro intervalos con respecto al subíndice n, esto es:

$$E_n(\omega) = E_{n+4}(\omega) \quad (7)$$

Algoritmo FFT

También puede ser entendido con la Fig. 4. Por otra parte, la suma del primer y tercer término de E_n en (5), denotado por el símbolo P_n, se repite cada dos intervalos, esto es:

$$P_{n+2} = P_n \qquad P_n = V_a + V_c exp(-2jn\omega) \quad (8)$$

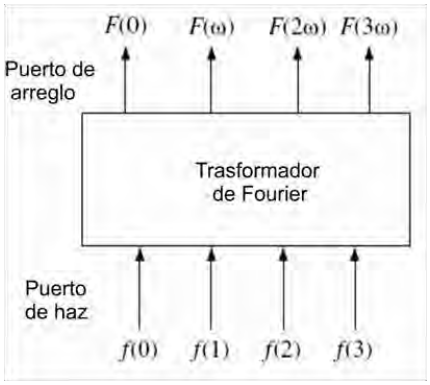


Figura 3. Diagrama de bloques que representa el puerto de haz y el puerto de arreglo [2]

Igualmente si tomamos el factor común entre el segundo y cuarto término de E_n, la parte restante Q_n se repite también cada dos intervalos. Esta propiedad periódica de las sumas parciales de los voltajes de entrada es explotada para minimizar el número de operaciones. Ahora vamos a utilizar esta propiedad para manipular E_n. Podemos alternativamente escribir E_n como:

$$E_n = V_a + V_c exp(-2jn\omega) + exp(-jn\omega) \cdot [V_b + V_d \exp(-2jn\omega)] = P_n + exp(-jn\omega)Q_n \quad (9)$$

Como $P_{n+2} = P_n \; y \; Q_{n+2} = Q_n$, entonces obtenemos:

$$E_0 = P_0 + Q_0 \qquad E_1 = P_1 + WQ_1$$
$$E_2 = P_0 + W^2 Q_0 \qquad E_3 = P_1 + W^3 Q_1$$
$$W = \exp(-j\omega) \quad (10)$$

La Fig. 5 muestra el flujo de señal del dominio PQ al dominio E. Los círculos representan multiplicadores y los factores de multiplicación están mostrados al lado de los círculos. Las 4 cantidades $P_n, Q_n (n = 0,1)$ son expresadas en términos de un voltaje de entrada en (9). Utilizando a (9) obtenemos la siguiente expresión:

$$P_0 = V_a + V_c \qquad Q_0 = V_b + V_d$$
$$P_1 = V_a + V_c W^2 \qquad Q_1 = V_b + V_d W^2 \quad (11)$$

De (11) podemos construir la gráfica del flujo de señal del dominio V al dominio PQ como en la Fig. 6. Combinando las Figs. 5 y 6 obtenemos el flujo de señal final de los algoritmos FFT representados en la Fig. 7. Es interesante notar que el algoritmo FFT requiere solamente 5 multiplicaciones en lugar de 12. Esta reducción de multiplicaciones es más dramática para un número mayor de haces. Por ejemplo, para una BFN de 8 elementos, el algoritmo de ocho-puntos FFT correspondiente reduce el número de multiplicaciones a solamente 17 en lugar de 56(=8x7).

FFT y matriz Butler

En un arreglo de antenas de fase, las series de función delta pueden ser consideradas como señales de RF producidas por múltiples haces. La gráfica de flujo de señales del algoritmo FFT puede ser seguida al construir un BFN produciendo múltiples haces. Por ejemplo, consideremos la gráfica de flujo de señal en la Fig. 7. Una operación de multiplicación con un exponente complejo es equivalente a un cambio de fase (un desfasamiento). Por lo tanto, los círculos en la Fig. 7 pueden ser considerados como desplazadores de fase.

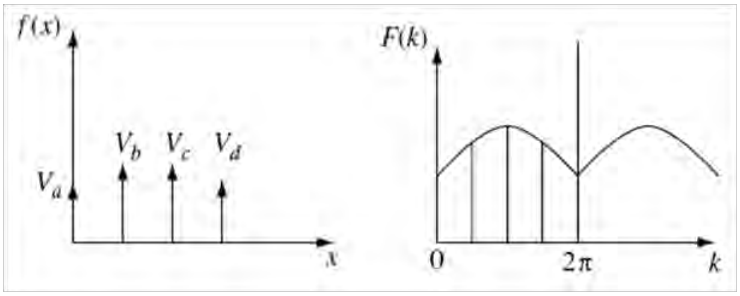


Figura 4. Relación entre los voltajes del puerto del haz y los voltajes del puerto del arreglo [2]

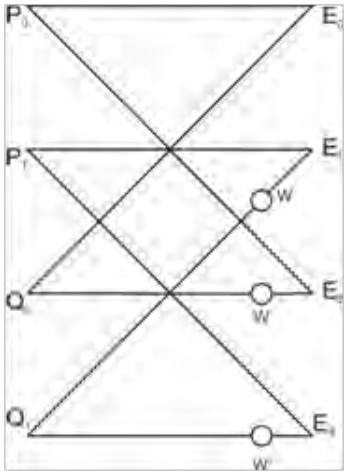


Figura 5. Gráfica del flujo de señal del dominio PQ a dominio E [2]

Un punto de unión de tres líneas es equivalente a un divisor de voltaje o a un combinador de potencia (por ejemplo, el combinador Wilkinson), dependiendo del número de líneas o puertos entrantes y salientes.

La representación de circuito equivalente de un diagrama de flujo de señal FFT se muestra en la Fig. 8. Los bloques en recuadro son divisores de potencia 1:2 o combinadores de potencia 2:1, bien definidos por sus puertos de entrada y salida.

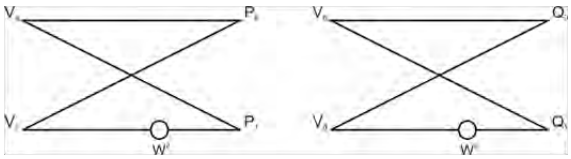


Figura 6. Flujo de señal del dominio V al dominio PQ [2]

Matriz Hibrida

Es preferible una BFN híbrida, por contar con mejor aislamiento de puerto a puerto que el divisor de voltaje de Wilkinsons. Por consiguiente la pérdida eficaz en un híbrido es inferior que el de un circuito divisor de voltaje típico. Un híbrido tiene dos puertos de entrada y dos puertos de salida. La Fig. 9 muestra la relación de entrada con la salida de un híbrido.

La matriz equivalente híbrida BFN se muestra en la Fig. 10. Note que reducen el número de componentes a 11, comparado a 21 de la Fig. 8.

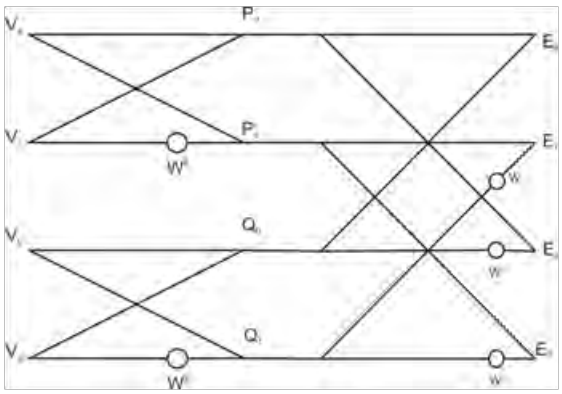


Figura 7. Flujo de señal de cuatro-puntos FFT [2]

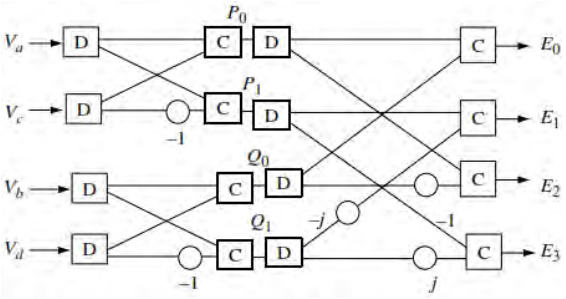


Figura 8. Matriz Butler BFN [2]

La matriz de Butler generalmente es puesta en práctica usando guías de onda rectangular o coaxial para usos de alta potencia.

Figura 9. Relación entrada/salida de un hibrido [2]

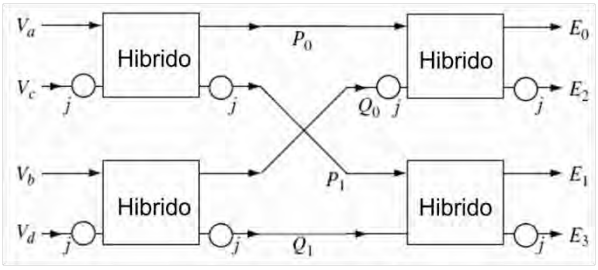


Figura 10. BFN Butler utilizando híbridos [2]

Agradecimientos

El presente trabajo recibió el apoyo del proyecto SIP 20111110 del Instituto Politécnico Nacional, México D.F.

Conclusiones

Se presenta una descripción detallada de la matriz Butler en redes de formación de haz para comunicaciones satelitales. Se describen las características del algoritmo de transformada rápida de Fourier para la BFN. Se exponen los pasos para el diseño de una matriz Butler BFN a partir del diagrama de flujo conformador de señales, con presencia de los dispositivos de microondas.

Referencias

[1] Bruno Pattan, “The versatile Butler Matrix”, Microwave Journal, Nov. 2004.
[2] Arun K. Bhattacharyya, Phased Array Antennas, John Wiley & Sons, 2006.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 72. Volumen 4(3), 6 páginas.

DISEÑO DE UN PROCESADOR EN VHDL.

Hernando Chagolla Gaona[1], Armando Mora Campos[2], Ahmed Zekkour Zekkour [3], José Alfredo Gaytán[4], Rodolfo Gutiérrez Razo[5].

Resumen

En este trabajo se presenta el análisis para desarrollar el diseño de un procesador arquitectura Harvard, considerando sus capacidades básicas de número de bits, registros, involucrando desde luego el diseño del formato de instrucción y pasando posteriormente a las características de comunicación internas. Se aborda el diseño de la Unidad de Control, cuya complejidad depende del número y tipo de instrucciones. Con el desarrollo de este trabajo se puede contar con la infraestructura adecuada para poder implementar una variedad de aplicaciones integradas en el mismo diseño. En este caso el procesador diseñado es de arquitectura abierta, misma que puede ser diseñada de manera diferente de acuerdo al tipo de aplicación al que se quiera dedicar.

Palabras clave: Sistemas digitales, diseño de un procesador, diseño VHDL.

Summary

This paper shows the analysis to design a Processor based in Harvard Architecture. This Processor works with Sixteen bits. Internally it uses several registers, and instruction formats to satisfy the initially defined characteristics. Is important too the Control Unit Design with complexity depending of instructions capability for with it was designed. This design represents an important tool because it has an open architecture to work with several applications according to each one of theme.

Keywords: Digital Systems, Processor design, VHDL Design.

Introducción

En cuanto al desarrollo propio de los sistemas digitales actualmente existe software de descripción hardware, que permite agilizar los diseños que anteriormente podrían tomar años para ser realizados, ahora no requieren más que algunos meses e incluso días y con la posibilidad de reutilizar el diseño. Este tipo de herramientas de software permite que se realicen diseños en base a programación lo que acelera significativamente el proceso de diseño y permite a su vez que se reduzcan los costos. Generalmente estas herramientas de software son muy costosas pero los grandes fabricantes de software dan facilidades a las instituciones educativas con el propósito de permitir a profesores y estudiantes familiarizarse con este tipo de tecnología.

El desarrollo de este proyecto tiene como fin el realizar un diseño de un procesador de Arquitectura Harvard con el uso de Lenguaje de Descripción Hardware, se inicia desde el análisis en la definición de su estructura, con lo que se busca obtener el conocimiento necesario para poder realizar modificaciones futuras, así como poder incluirle las capacidades requeridas para el tipo de aplicación que se desee realizar.

Es así como se contará con un procesador base que podrá ser utilizado para el Diseño de Sistemas Digitales posteriores, sin tener la necesidad de utilizar un procesador comercial. Con esto en mente, se podrán realizar mejoras al diseño, así como hacer uso directo del mismo y poder con ello estar partiendo del diseño propio para las aplicaciones que podamos atender en un futuro.

[1] Instituto Tecnológico de Querétaro, Universidad del Valle de México, Campus Querétaro. Av. Tecnológico Esq. M Escobedo S/N. 442 227-4418. E-mail: hchagollag@hotmail.com.
[2]. Instituto Tecnológico de Querétaro.
[3] Universidad Autónoma Metropolitana. E-mail: azz@correo.azc.uam.mx
[4,5] Universidad del Valle de México. Tel. 442 211-19-00.

De esta manera tanto los estudiantes como profesores tendrán la posibilidad de contar con el conocimiento y soporte necesario, que les conduzca a conocer las herramientas tecnológicas más recientes para que los estudiantes se puedan incorporar sin problemas al sector de investigación, industrial y de servicios, de una manera más competitiva y sin problemasy que como docentes podamos incursionar en el aspecto de desarrollo y diseño, lo que nos permite mantenernos actualizados y generando conocimiento y tecnología.

A su vez, con este tipo de desarrollo permite a los docentes fortalecerse en el área de trabajo de los sistemas digitales y aplicaciones al control de procesos, instrumentación y mecatrónicos, enfatizando en lo relacionado a microprocesadores y microcontroladores y diseño de sistemas de comunicaciones basados en buses digitales que a su vez son un soporte significativo para las áreas mencionadas.

Objetivo: realizar el análisis y diseño de un sistema de microprocesador, con el uso de Lenguaje de Descripción Hardware.

Desarrollo

Estructura del diseño del procesador.

Para dar inicio al diseño del procesador y poder avanzar en la conceptualización del diseño, se parte de los modos de direccionamiento que podrá ejecutar así como el tipo de instrucciones, para definir el formato o formatos de instrucción que el procesador podrá realizar, se continúa con el diseño de la Unidad de Control a la vez que se identifican las características del procesador en cuanto a manejo de dados internos y al exterior para determinar los módulos que deberá contener el procesador, así como la manera de interconectarlos. Así mismo habrá durante el diseño otros aspectos importantes a ser considerados, con el propósito de que el diseño sea eficiente y competitivo en cuanto a velocidad, cantidad de hardware requerido (teniendo en cuenta que si se requiere menos hardware para realizar las actividades que normalmente se hacen con determinado hardware, se estarían logrando mejoras en el diseño).

Para el diseño en cuestión no existe un límite en cuanto a velocidad, ni en uso de módulos de hardware, por esta razón es que sólo se tiene la limitante en cuanto a funcionalidad básicamente.

Los módulos mínimos necesarios, son la Unidad de Control, la ALU, la Unidad de Registros Internos de Uso General y los de Propósito Especial, así como los respectivos sistemas de decodificación.

En este caso se parte del diseño de un procesador de 16 bits para dotarlo de posibilidades mayores a los de 8 bits, procurando que esto no comprometa el diseño en complejidad.

Instrucciones a implementar:

Las instrucciones planteadas para el diseño inicialmente, son las básicas. A continuación se muestra la lista de instrucciones que será diseñadas en el procesador.Lo anterior dado que una vez planteada la estructura básica del procesador con el manejo de los diferentes registros y modos de direccionamiento, permitirá realizar muchas más variantes de las planteada inicialmente, pero con su respectiva complejidad en el diseño.

Para el diseño es muy importante identificar que soporte estructural requieren las diferentes instrucciones y sobretodo, los diferentes modos de direccionamiento que se requieren. Las instrucciones que se diseñarán serán de los siguientes tipos generales:

Transferencia de datos.
Aritméticas.
Lógicas
Instrucciones de salto.
Instrucciones de modificación de banderas y de verificación de bits.

Definición del Formato de Instrucciones.

Partiendo de que el procesador es de 16 bits (Fig. 1), se toman en cuenta 16 bits para el código de instrucción. Se tiene una gran flexibilidad en poder definir varios formatos de instrucción, dado que esto se podrá controlar desde la Unidad de Control, desde luego hará que la Unidad de Control sea más grande y que el tiempo que le lleve a ésta el procesar una instrucción, sea mayor.

Se tomaron los primeros 8 bits para definir el código de instrucción y en ciertos códigos concretos se utilizaron los bits del 15 al 8, como auxiliares, para determinar variantes con operaciones entre registros como con memoria. Esto en la Unidad de Control es representado como un ciclo “If then” externo, con opciones internas que pueden ser realizadas por ciclos similares anidados.

En la Fig. 2 se representa el formato de instrucción principal, en el cual se puede observar la distribución de bits. Dependiendo del número de registros y de los modos de direccionamiento se hará la asignación de bits a registros y al modo.

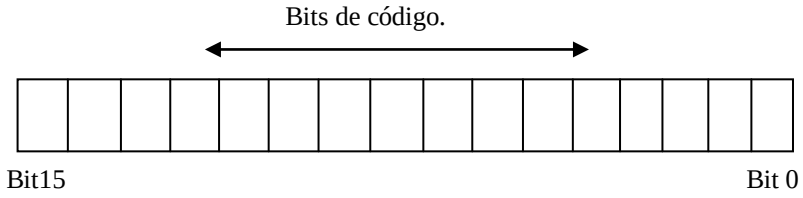


Fig. 1. Representación de orden de bits del 0 al 15.

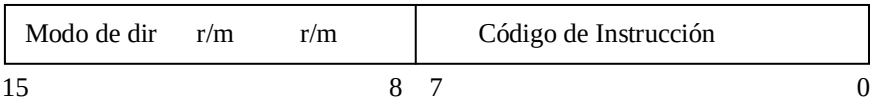


Fig. 2. Formato de Instrucción principal.

Diseño de la Unidad de Control.

Se continua con el diseño con la conceptualización de la Unidad de Control; eje central del procesador. La Unidad de Control se basó en una máquina de Mealy, en la cual sus salidas dependen de los estados y de sus entradas. Precisamente en la Unidad de Control es donde se realiza toda la secuencia lógica de operación del procesador, donde el ciclo de búsqueda de instrucción es repetitivo y cada instrucción que será ejecutada, tendrá su propia secuencia de acciones respectiva al tipo de instrucción y modo de direccionamiento.

En la unidad de control se realizan tantos cambios de estado como acciones secuenciales se requieren para lograr la realización de una instrucción. La señal de la unidad de control que sincroniza a todos los módulos, se llama CS (Chip Select). A través de esta señal se sincronizan todos los módulos, cuando ocurre la transición positiva del pulso de reloj. Por ello es que cada módulo recibe la señal clk como CS. La señal CS puede tomar 256 valores diferentes, dado que es de 8 bits. Todos los registros y buses al interior de la unidad de control son de 16 bits.

Se implementó el direccionamiento implícito, directo e indirecto. La plataforma que brinda el diseño del procesador, permite la implementación de muchas de las variantes de instrucciones existentes en el procesador, restando únicamente plantear la secuencia de operaciones para ejecutar las instrucciones, sin necesidad de estar implementando soluciones parciales a las deficiencias de una arquitectura simple.

En el presente trabajo se requirió del diseño de una máquina de 84 estados. A continuación se muestra la primera parte de la máquina diseñada por cuestión de simplicidad:

```
-- Description:    Módulo de control del procesador.

----------------------------------------------------------------------------

library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;


entity control is
   Port ( cs : inout std_logic_vector(7 downto 0);
          clk : in std_logic;
          reset : in std_logic;
          irq : in std_logic_vector(1 downto 0);
                io_m: out std_logic;
          rw : inout std_logic;
          datoin : in std_logic_vector(15 downto 0);
          pcontrol : inout std_logic_vector(15 downto 0);
          fdisp : inout std_logic_vector(7 downto 0);
          pcount : in std_logic_vector(15 downto 0));
end control;
architecture Behavcontrol of control is
```

```
type estados is (d0,d1,d2,d3,d4,d5,d6,d7,d8,d9,d10,d11,d12,d13,d14,d15,d16,
d100,d101,d102,d103,d104,d105,d106,d107,d108,d109,d110,d111,d112,d113,d114,d115,d116,d117,d118,d1
19,d120,
    d121,d122,d123,d124,d125,d126,d127,d128,d129,d130,d131,d132,d133,d134,d135,d136,d137,d138,d13
9,d140,d141,d142,d143,d144,d145,
    d146,d147,d148,d149,d150,d151,d152,d153,d154,d155,d156,d157,d158,d159,d160,d161,d162,d163,d16
4,d165,d166);
signal edo_presente, edo_futuro: estados;
signal des:std_logic_vector (7 downto 0);
begin
```

Arquitectura del Procesador.

*P*ara poder describir el diseño realizado se parte de una descripción general a bloques, lo que conduce a una primera aproximación de cómo construir el sistema, destacando desde luego las partes principales del diseño.

Una vez familiarizados con esta parte, se podrá describir más a detalle, donde se mencionan los diferentes registros y multiplexores que permiten que se manipule internamente y de una mejor manera. En la Fig. 3 se muestra de manera general el diseño, a través de un diagrama a bloques.

En este diagrama se representan los módulos principales y sus intersecciones. La Unidad de Control se interconecta a todos los módulos para indicar el momento en que cada módulo va a operar y de que manera.

El microprocesador es de 16 bits de datos y el bus de direcciones se ha implementado a 16 bits, también. El bus de datos interno como externo es de 16 bits, por ello es que todos los registros y trayectorias de datos internas son de ese mismo tamaño.

El decodificador de registros y direcciones, no decodifica la instrucción completa, sino que solo la parte respectiva a la dirección de registro o memoria en cuestión. En sí el decodificador de instrucción se da principalmente en la unidad de control.

El mux1 es el que le indica al módulo de registros de datos, que registro debe recibir información del bus de datos de entrada o que registro debe sacar su información de dicho módulo que pueden ir dirigidos hacia el propio bus de datos (no se muestra aquí esa trayectoria) o a la ALU.

Hay un módulo de registros de direccionamiento; el que contiene todos los registros que manejan direcciones y que es donde se indica cual será la fuente de la dirección siguiente. Por ” default” la dirección siguiente es la dirección contenida en el PC.

Los multiplexores a la entrada de la ALU, permiten que entren a la ALU, los datos procedentes del bus de entrada de datos, o las salidas de los registros de datos. La salida de la ALU se puede canalizar hacia el bus de datos al exterior del microprocesador o al interior al bus de datos interno.

Existen algunos registros más en el diseño, pero no son colocados, para simplificar y permitir que la descripción de la operación del sistema sea clara.

La salida de la ALU se puede canalizar hacia el bus de datos al exterior del microprocesador o al interior al bus de datos interno.

Así es como se ha logrado el diseño del microprocesador con la estructura mencionada. Se hace mención que el diseño se basó inicialmente en la operación de las instrucciones MOV con las diferentes variantes. Posteriormente se hicieron algunos ajustes, al considerar las instrucciones que involucran a la ALU, y sobretodo aquellas que involucran operaciones entre registros y/o memoria.

De mucha importancia es el definir las rutas de los buses internos, en este caso particular, las rutas del bus de datos internos, con lo cual se puede decir que se establece y define las posibilidades del procesador y características de velocidad y eficiencia, así como de capacidad.

La operación de los distintos módulos se describe muy brevemente aquí en este apartado, dado que los diferentes módulos están diseñados en lenguaje VHDL y su operación se describe en los propios programas, al momento de ir documentando cada uno de los mismos. En este apartado solo se describirán los aspectos estratégicos considerados para el diseño.

El decodificador de registros y direcciones.

Recibe los números de registro y el modo de direccionamiento. Incluye las operaciones necesarias para obtener la dirección resultante, según el modo de direccionamiento en cuestión. Esto incluye que los registros que tienen que ver con la obtención de estas direcciones, deben estar dentro de este módulo decodificador. (Podrían estar en otro módulo pero estar canalizados al lugar donde se realizarán estas operaciones).De este módulo sale la dirección de memoria compuesta y el número de registro. El número de registro puede ser generado en diferentes campos de la instrucción, según el formato de la instrucción. La dirección de memoria se canaliza al decodificador de dirección y la dirección de registro se canaliza al módulo de registros de datos.

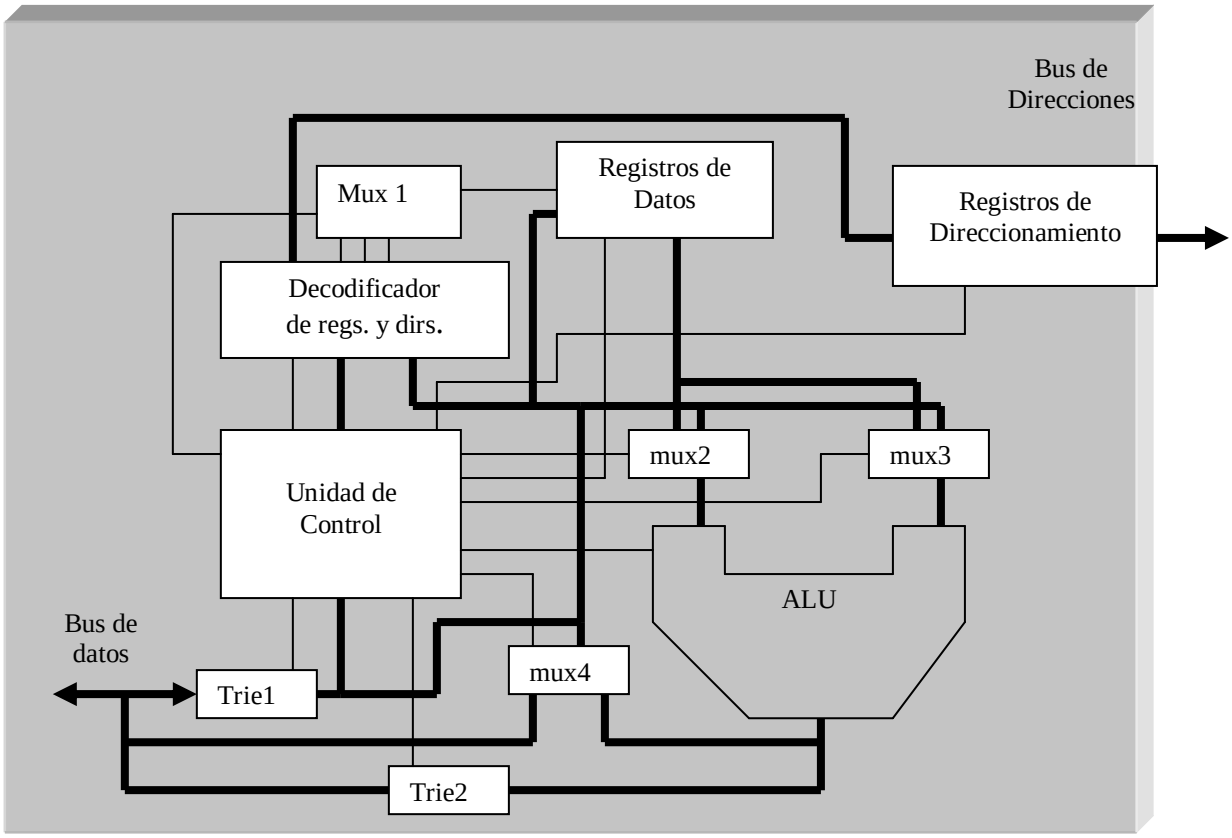


Figura 3. Diagrama a bloques del procesador.

Registros de datos.

El módulo de registros de datos recibe el bus de datos interno y las direcciones de registros con los que se va a operar en un momento dado. Este módulo tiene dos funciones fundamentales, colocar un dato en un registro, proveniente del bus de datos interno y pasar los datos de un registro determinado, a la salida de dicho módulo, con dirección a la ALU o que puede ser canalizado al bus de datos externo o retroalimentado hacia otro registro, según el tipo de instrucción. Se puede decir que este módulo juega un papel muy importante en el diseño, dado que si este módulo cuanta con un buen sistema de interconexiones, permitirá que los registros tengan una amplia gama de posibilidades de conexión, lo que le da al procesador características muy deseables para contar con instrucciones completas, rápidas, complejas, dinámicas, mayor conjunto de instrucciones e instrucciones que permiten ejecutar operaciones con menos pasos.

El decodificador de direcciones.

Recibe las direcciones de diferentes registros y del decodificador de registros y direcciones y a su salida deja pasar solo aquella que le sea indicada por la unidad de control. Normalmente deja pasar la dirección del PC.

Para algunos módulos se requieren más de una señal proveniente de la unidad de control, cosa que aquí no es mostrada por facilitar su descripción.

Conclusiones

Se tiene de este modo un procesador que realiza las operaciones básicas de un procesador, Hasta el momento se han realizado pruebas de la operación del sistema de manera estática y se ha podido verificar su funcionalidad. Para mejorar la capacidad del procesador hay que agregar las variantes en la Unidad de Control.

Con este diseño se cuenta con la estructura básica para continuar con el desarrollo de sistemas digitales, lo cual permitirá hacer los módulos necesarios según la aplicación, lo cual evitará utilizar un procesador de uso general para cada una de las aplicaciones, con lo que se podrán tener más ventajas en el uso de los recursos.

El procesador diseñado representa una herramienta muy útil para soportar diseños digitales a realizarse en el Laboratorio de Ingeniería Electrónica del Tecnológico de Querétaro.

Referencias

1. Manual de Procesadores Intel.
2. William Stallings. Organización de Computadoras, 4ª Edición. 1997. España.
3. Maxinez David José. Alcalá Jessica. VHDL, El arte de programar sistemas digitales. Tecnológico de Monterrey. Editorial CECSA. 2005. México.
4. Pardo Fernando, Boluda José. VHDL Lenguaje para síntesis y modelado de circuitos. Alfa Omega-ra-ma. 2000. México.

4to. Congreso Internacional de Ingenierías Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Mecatrónica y Sistemas Computacionales

Diseño de un Modulador ΣΔ de Tercer Orden Usando un Solo Amplificador Operacional

Aldo Peña Perez, Edoardo Bonizzoni, Franco Maloberti

UNIVERSIDAD DE PAVIA | Departamento de Electronica
Via Ferrata, No. 1, C.P. 27100, Pavia-Italia, email:aldo.perez@unipv.it

Area Temática: Micro-Eletronica

INTRODUCCIÓN

El modulador sigma-delta (ΣΔ) ha sido sin duda uno de los convertidores analógico-digital de sobremuestreo más utilizados por su alta resolución y su bajo consumo de potencia. Las telecomunicaciones, dispositivos portátiles, conexiones wireless, señales de audio de alta fidelidad e instrumentación medica son algunas de las diversas aplicaciones donde el modulador ΣΔ ha ido ganando terreno. Su principal ventaja se debe al *shaping* del ruido y al factor de sobremuestreo [1] ya que ambos le permiten obtener altas resoluciones en el rango de 12-18 bits.

Cuando se diseña un modulador ΣΔ es importante considerar tres parámetros fundamentales: el orden del modulador, el factor de sobremuestreo y el numero de bits usados en el convertidor flash. Los tres factores benefician la resolución pero es importante establecer el balance perfecto entre ellos sin incrementar la complejidad de la arquitectura y el consumo de potencia.

El modulador presentado en este trabajo muestra un compromiso adecuado entre los tres parámetros ya que implementa una arquitectura del tercer orden con un factor de sobremuestreo relativamente bajo (OSR=16) y con 32 niveles de quantización (5-bits) en el convertidor flash. Para beneficiar al máximo el consumo de potencia el modulador emplea un solo amplificador operacional.

ARQUITECTURA PROPUESTA

La arquitectura propuesta del modulador de tercer orden es mostrado en la figura 1. La estructura es el resultado de diferentes modificaciones tipológicas [2] que permiten la implementación de un solo amplificador operacional en lugar de tres. La arquitectura emplea un modulador ΣΔ convencional de segundo orden, donde solo dos integradores con retardo son utilizados para obtener una *función de transferencia de ruido* (NTF) de tercer orden.

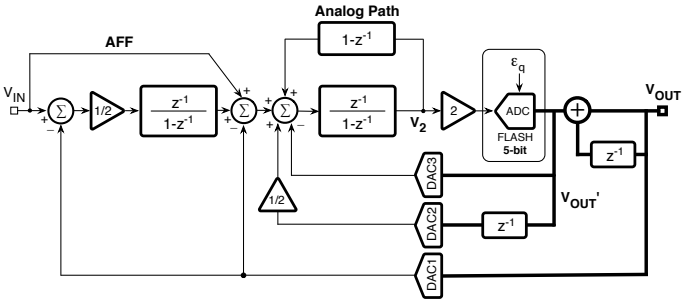


Fig. 1. Arquitectura propuesta del modulador ΣΔ de tercer orden.

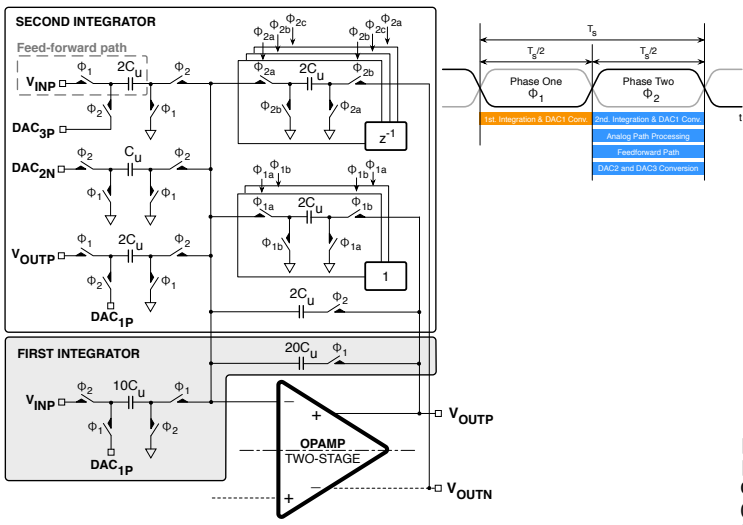


Fig. 2. Implementación con capacitores conmutados del modulador ΣΔ y sus fases de control.

Cabe mencionar que el incremento de segundo orden a un tercer orden de la NTF en el modulador convencional es conseguido gracias a la adición de un path analogico y digital, tal y como se ilustra en la figura 1.

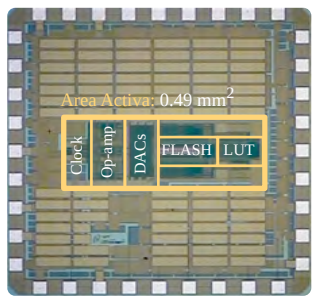
Para relajar las especificaciones de ancho de banda y slew-rate en el amplificador operacional empleado, técnicas de reducción del swing de salida de los integradores son utilizadas. Como resultado se obtiene una arquitectura con un consumo de potencia muy bajo y con altas prestaciones en términos de resolución.

La implementación del modulador con capacitores conmutados es mostrado en la figura 2. Dos fases con la misma duración de tiempo son utilizadas para el desarrollo de las dos funciones de integración. Ambas funciones son desempeñadas por el amplificador operacional gracias a su operación multiplexada [3]. Las fases de control de todos los switches son ilustradas con detalle en la misma figura.

El amplificador operacional usa una topología de dos estadios para proporcionar un ganancia elevada en configuración de lazo abierto .

RESULTADOS MEDIDOS

El modulador ha sido integrado usando una tecnología CMOS de 180 nm. La figura 3 muestra la fotografía del circuito integrado, el cual presenta una área activa de 0.49 mm^2. El desempeño medido del modulador es mostrado en la tabla incluida dentro de la misma figura. La figura 4 muestra el espectro de potencia medido del modulador propuesto. El espectro presenta, como se esperaba, un *shapping* de ruido de tercer orden gracias a la pendiente del ruido de 60 dB por década. La resolución obtenida del modulador es de 13.6 bits correspondientes a 84 dB en la relación señal y ruido más distorsión (SNDR). El consumo de potencia medido es de 140 μW dejando una *figura de mérito* (FoM) de 54 fJ/conv.



Desempeño Medido del Modulador

Tecnología CMOS [nm]	180
Voltaje de Alimentación: [V]	1.5
Factor de Sobremuestreo: OSR	16
Ancho de Banda: BW [kHz]	100
Consumo de Potencia: [μW]	140
Razón Señal-Ruido: SNDR [dB]	84
Resolución: ENoB [bits]	13.6
Figura de Merito: FoM [fJ/conv.]	54

Fig. 3. Fotografia del circuito integrado y tabla que muestra el desempeno medido del modulador.

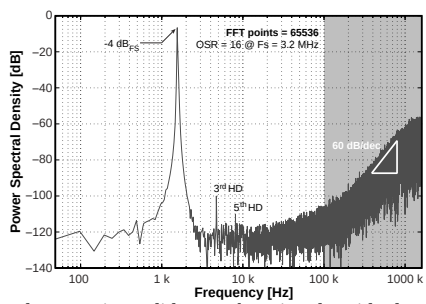


Fig. 4. Espectro de potencia medido con shapping de ruido de tercer orden.

CONCLUSIONES

El diseño de un modulador ΣΔ de tercer orden implementado con un solo amplificador operacional ha sido presentado. El modulador emplea diversas técnicas de reducción de potencia que le permiten obtener una *figura de mérito* (FoM) dentro del estado del arte y sin degradar sus prestaciones en términos de resolución y desempeño.

REFERENCIAS

[1] F. Maloberti, “Data Converters”, Springer, 2008.

[2] C. D. Fiore and F. Maloberti, “Design of ΣΔ Modulators with Reduced Number of Operational Amplifiers”, Proceedings of the European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD), vol. 1, pp. I/205-I/208, September 2005.

[3] C. M. Zierhofer, “Analysis of a Switched-Capacitor Second-Order Delta-Sigma Modulator Using Integrator Multiplexing”, IEEE Transactions on Circuits and Systems-II, vol. 53, no. 8, pp. 787-791, Aug. 2006.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 76. Volumen 4(3), 5 páginas.

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN INSTRUMENTO DE MEDIDA DEL ÁNGULO DE ATAQUE EN AERONAVES BASADO EN EL COMPORTAMIENTO AERODINÁMICO DE SUPERFICIES SUSTENTADORAS EMPLEANDO DISPOSITIVOS DE TECNOLOGÍA LÓGICA TRANSISTOR-TRANSISTOR

Martha Olivia García Cañedo[1], Juan Bernardo Quintanilla Chávez[2]

Resumen

El propósito de este artículo es describir la propuesta de diseño de un instrumento básico de medición del ángulo de ataque, necesario para controlar las condiciones de sustentación y maniobrabilidad que permita mantener una actitud de vuelo segura en las aeronaves, mediante el uso de dispositivos electrónicos de tecnología lógica transistor-transistor, aplicando la metodología de resolución de problemas mediante el diseño digital, esperando que a partir de esta propuesta inicial se generen nuevas propuestas empleando otras tecnologías de sondeo que permitan correlacionar los resultados obtenidos.
Palabras clave: ángulo de ataque, diseño, instrumento, propuesta, tecnología TTL.

Summary

The purpose of this article is to describe the proposed design of a basic instrument for measuring angle of attack necessary to monitor the condition of lift and maneuverability to maintain a safe flight attitude of the aircraft through the use of electronic transistor-transistor logic technology, applying the methodology of solving problems through digital design, hoping that from this initial proposal was to generate new proposals using other technologies that allow correlating survey results.
Keywords: Angle, Design, Implement, Proposal, TTL Technology.

Introducción

El uso de sensores hoy en día tiene relevancia en varios sistemas de monitoreo, sobre todo en aquellos donde la seguridad es un factor importante, como en el caso de la aviación. Una aeronave cuenta con diferentes tipos de sensores con funciones propias que demanda cada sistema, aunado a estos sensores se tienen los sistemas indicadores. Respecto a los sensores que monitorean el ángulo de ataque se tienen algunos muy rudimentarios como son los de aleta, ranuras y arrays de sensores integrados. Es necesario considerar algunos conceptos teóricos para su mayor comprensión.

El ángulo de ataque de una aeronave, también llamado ángulo de incidencia, es un parámetro importante desde el punto de vista de las actuaciones aerodinámicas. Se define como el ángulo formado entre la cuerda del ala y el vector velocidad del viento incidente, que coincide con la línea de la trayectoria de vuelo [1], ver Fig. 1. Existe un acrónimo del ángulo de ataque muy frecuente, que es "AOA" (Angle of Attack).

El piloto debe controlar el ángulo en algunas fases del vuelo, como el despegue y el aterrizaje. Desde el punto de vista de la seguridad en vuelo, existe un límite que no se debe sobrepasar, ya que de hacerlo la aeronave entra en pérdida, término relacionado a la pérdida de sustentación de la aeronave.

Por otro lado, la sustentación del ala de una aeronave depende esencialmente de tres factores, que el piloto debe considerar:

Superficie alar: puede ser incrementada mediante los dispositivos hipersustentadores, es decir, mediante flaps y slats.

[1] Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo, Camerino Mendoza No. 318, Colonia Morelos Pachuca, Hgo. C.P. 42040. Tel. (771) 7186031. E-mail: moliviagc_01@yahoo.com.mx

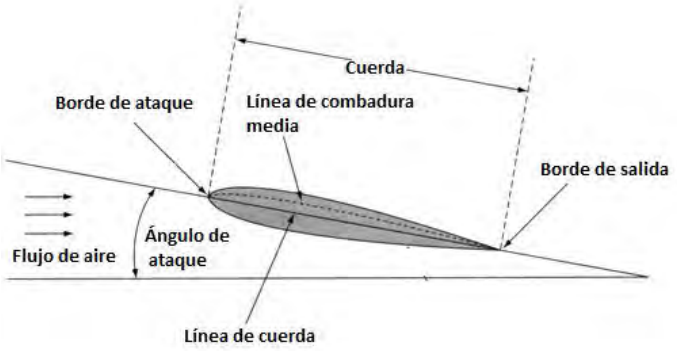


Fig. 1. Ángulo de ataque

Presión dinámica: está relacionada con la velocidad de la aeronave.
Ángulo de ataque: varía dependiendo de otros factores.

Se sabe que la superficie del ala es invariable y que la sustentación se equilibra con el peso de la aeronave, el piloto debe controlar la velocidad y el ángulo de ataque para mantener la estabilidad. Así, si se incrementa la velocidad, el ángulo de ataque disminuye y viceversa, si se disminuye la velocidad, el ángulo de ataque aumenta.

Si se pretende mantener un ángulo de incidencia constante disminuyendo la velocidad, la aeronave necesariamente pierde sustentación y comenzará a descender [2]. Si, por el contrario, el piloto pretende mantener la velocidad constante e incrementa paulatinamente el ángulo de incidencia, la sustentación aumentará hasta alcanzar el punto de entrada en pérdida [3].

Por lo tanto, se deduce la necesidad de disponer en cabina de un indicador de ángulo de ataque y una alarma sonora de entrada en pérdida. Los indicadores de ángulo de ataque son los dispositivos encargados de presentar en cabina al piloto la información captada por las sondas AOA. La indicación proporciona información para mantener el rendimiento aerodinámico óptimo de la aeronave.

Su utilización principal se realiza durante las fases de aproximación, aterrizaje o despegue, con el objetivo de mantener durante el ascenso y descenso una actitud adecuada.

El instrumento que proporciona el ángulo de ataque puede ser muy útil en condiciones de vuelo críticas, que es cuando se debe emplear la actuación máxima. Durante el despegue y el aterrizaje en pistas cortas y en un encuentro con vientos cortantes, el instrumento indicador de ángulo de ataque puede permitir un mando más preciso del avión.

Sistema alertador de entrada en pérdida.

La entrada en pérdida es una situación insostenible para una aeronave, ya que representa el fallo de sustentación respecto a su peso.

El coeficiente de sustentación C_L, aumenta con el ángulo de ataque hasta un punto en el que alcanza un máximo, a partir del cual disminuye bruscamente. Alcanzando este punto, la aeronave se precipita y el piloto pierde el control. Cada aeronave tiene una velocidad mínima compatible con el vuelo, ya que su perfil alar determina un coeficiente de sustentación máximo, ver Fig. 2.

Metodología y resultados

El objetivo es diseñar el prototipo de un instrumento medidor del ángulo de ataque en aeronaves, para lo cual se recurrió al empleo de la metodología de diseño digital, el cual consiste en especificar el sistema, es decir describir el problema en cuestión, determinar las entradas y salidas, obtener las funciones de salida e interpretarlas, realizar el diagrama esquemático y finalmente la implementación del sistema.

En el proceso de especificación del problema, parte del hecho de que las aeronaves actuales deben llevar sistemas alertadores de entrada en pérdida, que se basan principalmente en la medida del ángulo de ataque límite para su activación. El sistema de datos de aire, y en concreto la velocidad aerodinámica, no se pueden utilizar para operar el sistema alertador, debido principalmente a que una aeronave puede entrar en pérdida a diferentes velocidades. Por ejemplo, un avión alcanzará la pérdida a mayor velocidad en alabeo pronunciado que en vuelo nivelado, ya que el empuje vertical sobre el ala se usa para hacer virar a la aeronave.

Para la consideración de entradas y salidas, como se ha explicado, existe un ángulo de ataque crítico a partir del cual la aeronave entra en pérdida. El ángulo límite tiene para cada aeronave un valor determinado, que depende del ala, pero que es independiente de factores como el peso, la velocidad o la actitud de vuelo.

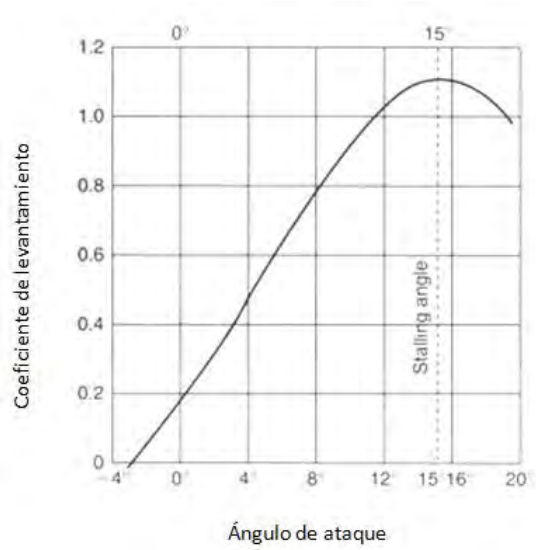


Fig. 2. Variación de la sustentación y resistencia vs ángulo de ataque

Desde el punto de vista de la seguridad en vuelo, el ángulo crítico conduce a la entrada en pérdida, los ingenieros aeronáuticos diseñan el avión para que se alcance un ángulo crítico previo al ángulo de entrada en pérdida, en el cual las condiciones de sustentación y maniobrabilidad están bajo mínimos, pero que permiten recuperar una actitud de vuelo segura.

Material

Para la implementación requerimos de la elaboración de un diseño de aleta, elaborada de madera balsa con las características mostradas en la Fig. 3, la aleta suele ir empotrada en el lateral de la parte delantera del fuselaje, ver Fig 4. Consiste en una aleta que gira arrastrada por el flujo del viento incidente y se alinea con él. El movimiento rotativo se transmite mediante un sistema sincro al indicador de cabina. Este sensor (aleta) puede verse como una parte del sistema de alarma de entrada en pérdida.

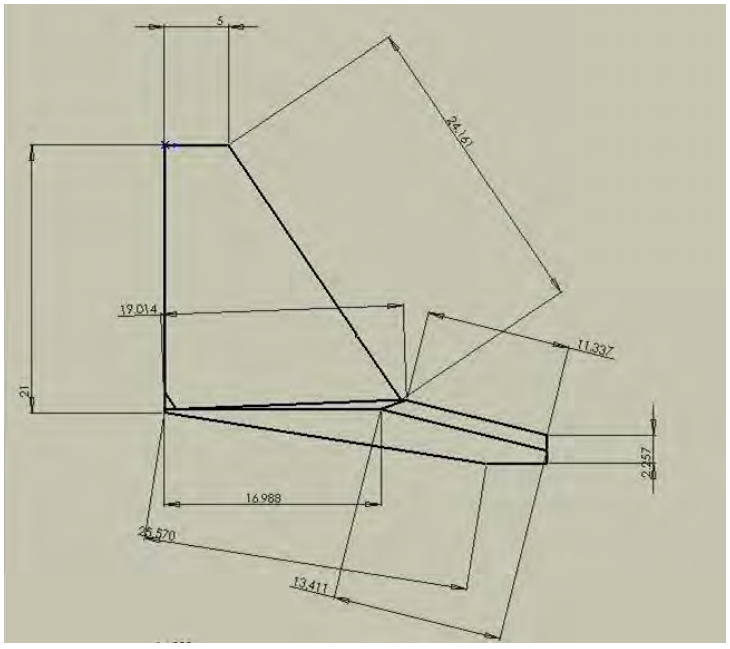


Fig. 3. Diseño de aleta.

Fig. 4. Aleta empotrada

Los elementos empleados para la implementación del circuito de alarma son un decodificador 74LS47, resistores de 470Ω y 220Ω, dos displays de siete segmentos, un CI 555 para armar el generador de pulsos, un zumbador, un potenciómetro, capacitores de valores de 100nF y 0.01µF así como fuentes de voltaje.

El conjunto de indicador presenta la información de forma angular. El elemento responsable de la indicación es una aguja que señala el ángulo actual sobre una escala graduada en la periferia. Asimismo, mediante el uso de un circuito decodificador BCD (binario codificado en decimal) 7447 TTL (lógica transistor-transistor) de siete segmentos acoplado a una serie de interruptores, los cuales definen de acuerdo a la rotación de la aleta el rango de giro de la misma, comprendido entre -16° y 16°, visualizándolos en un display de configuración ánodo común, por tanto la alarma se activa cuando se detecta una entrada en pérdida de la aeronave, la cual está constituida por un circuito generador de pulsos acoplado a la serie de interruptores, que al dejar pasar el pulso correspondiente activa un zumbador entre -10° y 10°, lo que representa información importante al piloto, ver Fig. 5 y Fig 6.

Conclusión

El desarrollo de instrumentos de medición tales como los de ángulo de ataque requieren de mayor atención, ya que representan seguridad en el vuelo de las aeronaves, por tanto, como consecuencia de una primera propuesta con el diseño planteado pretendemos abordar nuevas posibilidades de desarrollo de sistemas indicadores electrónicos de ángulo de ataque que permitan al piloto tener una referencia segura en base a los datos requeridos para su cálculo, haciendo uso de nuevas tecnologías digitales que nos arrojen datos representativos de la actitud de la aeronave para evaluar el rango crítico en el que la aeronave se mantiene en vuelo seguro y en consecuencia correlacionar la información a través de diversas técnicas basadas en un estudio aerodinámico real.

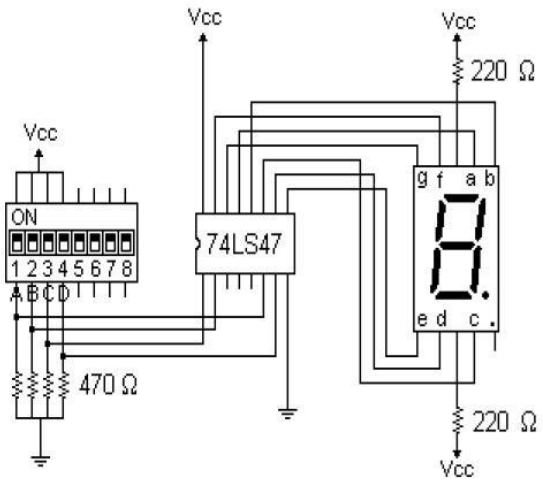


Fig. 5. Elementos del conjunto indicador de alerta

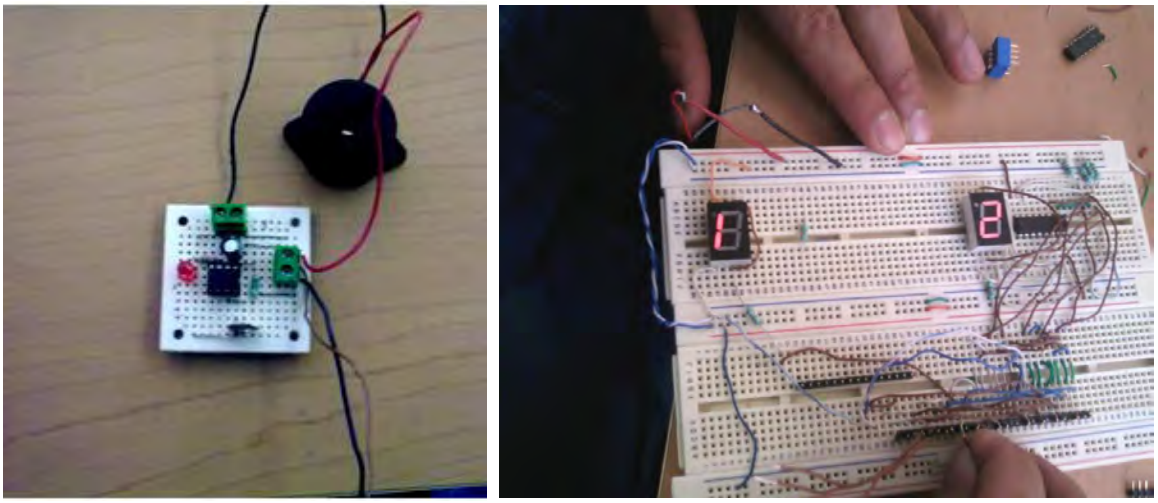


Fig. 6. Generador de pulsos y ensamble del conjunto indicador de alerta

REFERENCIAS

[1] Tooley, M. Wyatt D. *Aircraft electrical and electronic systems*. Primera edición. 2009. BH. Burlington, Estados Unidos. 408 páginas.
[2] Martínez Rueda, J. *Sistemas eléctricos y electrónicos de las aeronaves*. 2007. Thomson. Madrid, España. 994 páginas.
[3] Abbot, I. *Theory of Wing Sections*. Primera edición. 1959. Estados Unidos. 693 páginas.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 105. Volumen 4(3), 8 páginas.

AUTOMATIZACIÓN DE LA MEDICIÓN DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Víctor Agüero Zamora[1]; Juan Guillermo Lira Cacho[1]

Resumen

En este trabajo se muestran los resultados de un proyecto desarrollado en el Instituto de Motores de Combustión Interna para automatizar la toma de datos de un banco de pruebas de motores mediante el software LabVIEW 8.5. Para esto, se utilizó la tarjeta de adquisición de datos USB-6008 de National Instruments para obtener los valores de los diferentes parámetros (torque, velocidad, consumo de combustible y diversas temperaturas del motor). También se diseñaron las tarjetas de acondicionamiento de señales de los instrumentos utilizados: Termopares tipo k, celda de carga, sensor de velocidad y dos pares de sensores infrarrojos en posiciones fijas para evaluar el consumo de combustible. Finalmente, se procedió a la calibración de todas las tarjetas diseñadas. El software de control se diseñó de tal manera que se puede ver el valor de todos los parámetros del motor en tiempo real, graficando la tendencia de los parámetros más importantes en el intervalo de tiempo deseado y luego grabar los datos en un archivo de extensión x*x.lvm*, compatible con el programa Excel, para así tener un registro permanente del ensayo realizado.
Palabras clave: Automatización; banco de pruebas; motor de combustión interna; adquisición de datos; acondicionamiento de señales.

Abstract

This paper presents the results of a project developed at the Institute of Internal Combustion Engines to automate a data collection engine test bench using the *LabVIEW* 8.5 software. For this, we used the data acquisition card *USB-6008* from National Instruments to obtain the values of different parameters (torque, speed, fuel consumption and engine different temperatures). Cards were also designed signal conditioning instruments used: type *K* thermocouples, load cell, speed sensor and two pairs of infrared sensors in fixed positions to evaluate the fuel consumption. Finally, we proceeded to the calibration of all cards designed. The control software was designed so that you can see the value of all motor parameters in real time, plotting the trend of the most important parameters in the desired time interval and then record the data in a file extension *xx.lvm*, compatible with Excel, so a permanent record of the trial.
Keywords: Automation, Test Bench, Internal Combustion Engine, Data Acquisition, Signal Conditioning.

Introducción

En el Instituto de Motores de Combustión Interna (IMCI) de la Universidad Nacional de Ingeniería, se realizan rutinariamente diversos tipos de pruebas en bancos de ensayos de motores o de sus sistemas auxiliares, tanto para empresas privadas como entidades del Estado. También se realizan pruebas con fines de instrucción a alumnos y de investigación. Estos ensayos tienen por finalidad evaluar los diferentes parámetros de los motores, tales como consumo de combustible, potencia, torque, temperaturas, velocidad, etc.

Actualmente, en el IMCI, la toma de datos se realiza generalmente en forma manual, lo que requiere de varias personas para poder registrar los datos simultáneamente. Esto es complicado y agotador debido al ruido producido por el motor, la brevedad del tiempo y al tipo de instrumentación utilizada. Luego de la toma de datos, recién se pueden hacer los cálculos de los parámetros del motor, lo cual conlleva cierto tiempo.

Para poder ahorrar tiempo y tener mayor exactitud en la toma de datos, se está desarrollando un proyecto institucional cuyo objetivo principal es modernizar la infraestructura y la instrumentación del instituto mediante la automatización.

[1] Instituto de Motores de Combustión Interna, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. E-mail: victoraguero_4@hotmail.com, glira@uni.edu.pe

Con esto se ha logrado realizar la toma de datos automáticamente, mediante el software LabVIEW 8.5, el cual es muy usado para poder realizar el control de procesos. Para ello, se utilizó una tarjeta de adquisición de datos de la National Instruments, la USB-6008, mediante la cual se adquieren valores de voltajes análogos y señales digitales. Estos son procesados dentro del programa de control, para obtener los valores de los diferentes parámetros a medir.

Descripción general del sistema

Los parámetros del motor de combustión interna que se escogieron para automatizar su medición fueron: Las temperaturas del aire de admisión y del sistema de enfriamiento del motor, la fuerza en el dinamómetro, las RPM del cigüeñal y el consumo volumétrico de combustible. Se desarrollaron tarjetas de acondicionamiento de señales para la medición de temperaturas (termopares), la fuerza (celda de carga), la velocidad de rotación del cigüeñal (tacómetro) y se diseñó una tarjeta que usa dos pares de sensores infrarrojos, en posiciones fijas, para poder evaluar el consumo volumétrico de combustible.

El diagrama de bloques del sistema de adquisición de datos con los sensores utilizados en el motor, se muestra en la Fig. 1.

Componentes del sistema

1. Sensores

Para la medición de las temperaturas se utilizaron termopares ("termocuplas") tipo *K*, porque pueden medir un amplio rango de temperaturas. El termopar es un transductor formado por la unión de dos metales distintos, las cuales generan un voltaje en función de la diferencia de temperaturas entre sus bornes. Para la medición de la fuerza, se utilizó una celda de carga, la cual posee galgas extensiométricas (strain gauge), las cuales al extenderse (o comprimirse) cambian su resistencia eléctrica; con la celda utilizada se puede medir fuerzas de hasta 25 kg (245 N). Para la medición de la velocidad de rotación se utilizó un tacómetro de tipo inductivo.

2. Tarjeta de acondicionamiento de señales

Debido a que las señales eléctricas generadas por los sensores son pequeñas, no se pueden trabajar directamente, para ello son necesarias etapas de amplificación, aislamiento y filtrado de la señal. Se utilizó una tarjeta de acondicionamiento de la señal de cada sensor, las cuales se diseñaron de acuerdo al tipo de sensor utilizado en cada caso.

3. Tarjeta de conversión A/D

Para la conversión de datos A/D, se utilizó la tarjeta *USB-6008* de la National Instruments, la cual tiene una precisión de 12 bits. Esta tarjeta está diseñada para trabajar conjuntamente con una PC utilizando el software LabVIEW 8.5.

4. Adquisición de datos

Para la adquisición de datos y el procesamiento de las señales de todos los sensores, se empleó una computadora personal (PC), mediante el software LabVIEW 8.5.

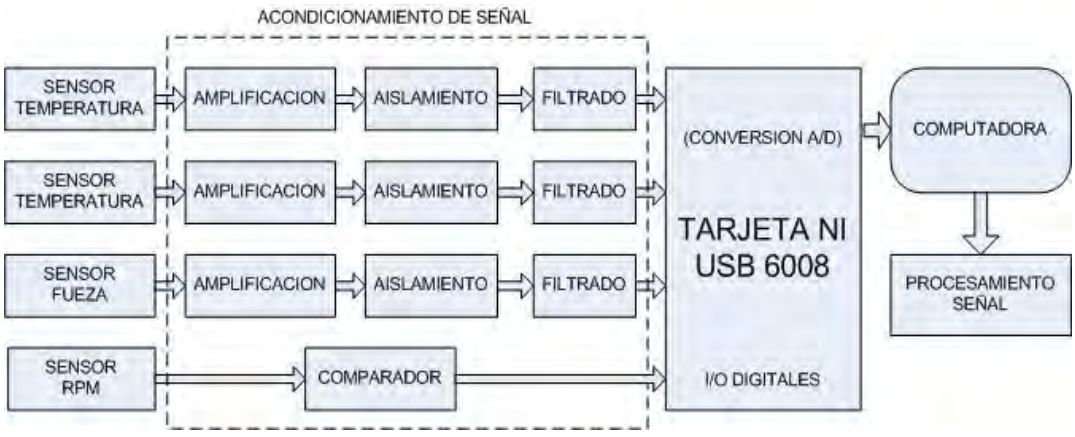


Fig. 1. Diagrama de bloques del sistema de adquisición de datos.

Acondicionamiento de las señales

El acondicionamiento de las señales provenientes de los sensores utilizados, tiene tres etapas (ver Fig. 1). En la primera etapa se produce la amplificación de la señal, la cual consiste en incrementar el valor de la señal en un determinado número de veces, el cual puede estar definido por el rango de medición y el máximo voltaje de lectura del conversor A/D.

La segunda etapa es de aislamiento del circuito de amplificación con el circuito que va a estar conectado directamente con la PC. Esto es para prevenir un eventual daño de la tarjeta A/D o de la PC, generado por un corto circuito en la zona de los sensores.

En la tercera etapa se realiza el filtrado de la señal para disminuir el nivel de ruido eléctrico que se amplifica junto con ésta, de tal manera que la señal que ingresa al conversor A/D sea lo más limpia posible.

Acondicionamiento de señal para los sensores de temperatura

Para la amplificación de las señales de los termopares tipo K, se utilizó el amplificador operacional OP07 [6] (ver Fig. 2), el cual reúne las características de precisión necesarias para el valor de las señales de este tipo de termocuplas (41µV/°C). La configuración del amplificador fue en modo diferencial con una amplificación de 148 veces, en donde las señales de entrada son la suma del termopar y del integrado de compensación de junta fría (LT1025) [9].

Para la etapa de aislamiento se utilizó un amplificador de aislamiento, el ISO122JP [5], que tiene una ganancia igual a 1, de tal manera que la señal que entra y sale es la misma. Para el filtrado de las señales amplificadas, se utilizó un filtro activo de orden 2, con una frecuencia de corte de 20Hz y una ganancia de 1.

Acondicionamiento de señal para el sensor de fuerza

Para la amplificación de las señales de fuerza de la celda de carga, se utilizó un amplificador de instrumentación, el INA114 [4], debido a que las señales son bastante pequeñas en comparación con un termopar. Se empleó la configuración diferencial para producir una amplificación de 255 veces (ver Fig. 3).

Para la etapa de aislamiento también se utilizó el integrado ISO122JP [5]; y para la etapa de filtrado, se empleó un filtro activo con un amplificador operacional de propósito general, el LM741 [7].

Acondicionamiento de señal para el sensor de revoluciones (tacómetro)

La señal de salida del sensor de revoluciones es una onda casi cuadrada de 11,5V de amplitud. La tarjeta USB-6008 tiene entradas digitales de 5V, por lo que fue necesario limitar la amplitud de la señal a 5V y generar una onda cuadrada con la frecuencia de la salida del sensor, para esto se empleó un integrado de comparación LM293 [8] (ver Fig. 4). Con esto se compara la señal de ingreso del sensor de revoluciones con un voltaje de referencia, generando una señal cuadrada de 5V con la frecuencia del motor, la cual ingresa a la tarjeta USB-6008 para ser procesada en la computadora.

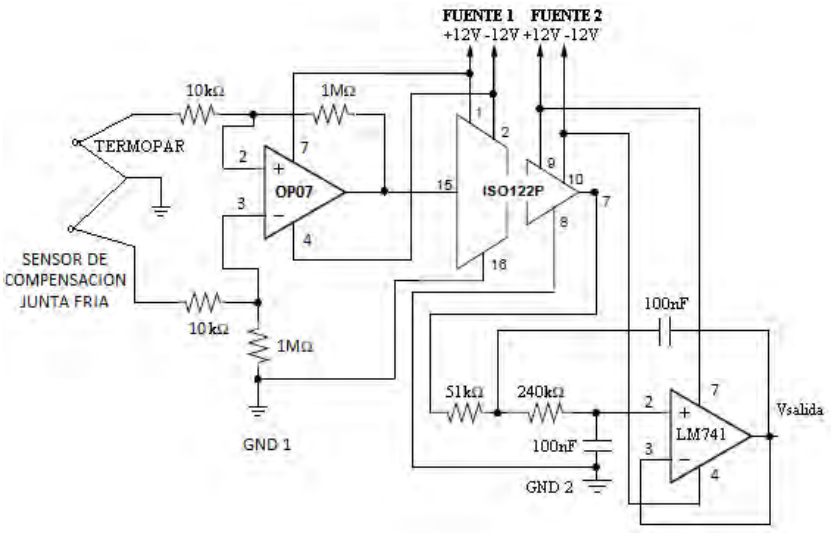


Fig. 2. Esquema del circuito de amplificación y filtrado de la señal de los termopares

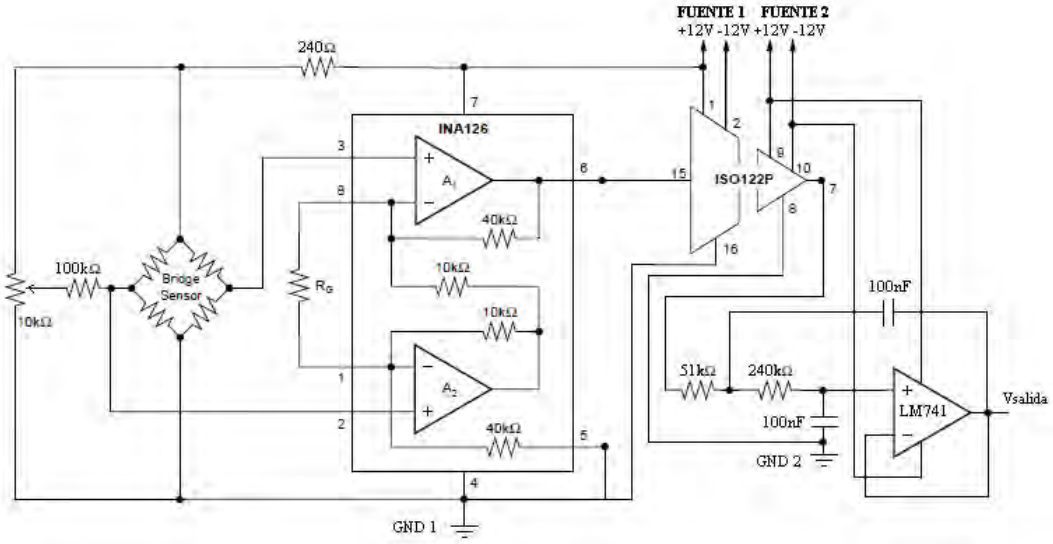


Fig. 3. *Esquema del circuito de acondicionamiento de la señal de fuerza de la celda de carga del dinamómetro*

Tarjeta del medidor de consumo de combustible

Para medir el consumo de combustible se usaron dos pares de sensores infrarrojos (emisor-receptor) colocados en dos posiciones fijas frente a una pipeta graduada vertical por donde desciende el combustible durante la medición del mismo. El volumen de combustible entre las dos posiciones es de 10cm^3. Cuando el nivel superior del combustible (que tiene la forma de un menisco grueso, por efecto de la capilaridad del líquido) intersecta el haz emitido por el emisor infrarrojo superior se produce una disminución apreciable del voltaje que normalmente se genera en el receptor, cuando el haz atraviesa la columna del líquido (sin menisco) o el aire. Cuando el nivel del combustible llega al par de sensores infrarrojos inferiores, el fenómeno se repite.

Para poder utilizar esta disminución de voltaje a la salida del circuito del sensor infrarrojo, se necesita generar una señal digital tipo pulso para poder procesarlo. Este pulso se generó utilizando el amplificador operacional LM358, en modo comparador, y para procesar estos pulsos se utilizó el microprocesador PIC 16F877A [10] (ver Fig. 5), el cual se programó en lenguaje C [11].

El programa desarrollado mide el intervalo que existe entre las dos señales y realiza las operaciones matemáticas para mostrar los valores del consumo de combustible en un display, tomando un volumen fijo de 10 cm^3.

Software LabVIEW 8.5

El software utilizado para la adquisición de datos y el procesamiento de las señales provenientes de todos los sensores es el LABVIEW 8.5, el cual tiene una interfaz gráfica de programación bastante buena y fácil de usar.

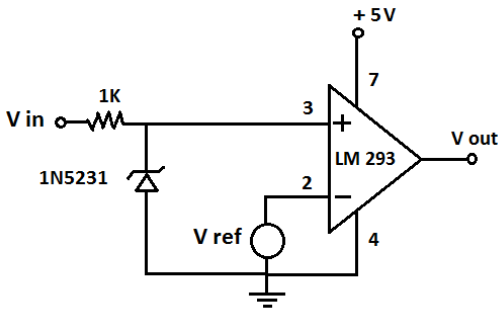


Fig.4. *Esquema del circuito de acondicionamiento de señal del sensor de revoluciones por minuto (tacómetro).*

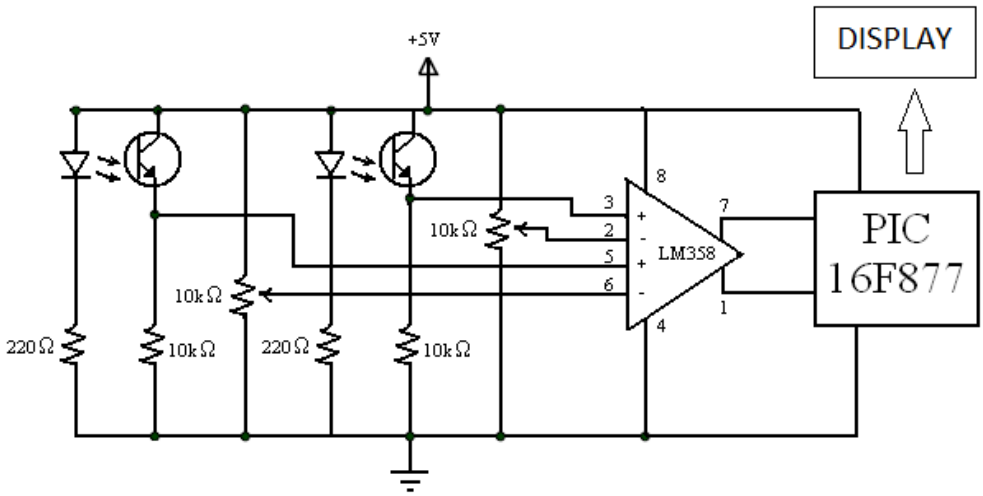


Fig. 5. Esquema del circuito de acondicionamiento de señal para la medición del consumo de combustible.

La interfaz de control se diseñó de tal manera que uno puede ver el valor de todos los parámetros en tiempo real, graficando la tendencia de ciertos parámetros. También se puede seleccionar el intervalo de tiempo de la toma de datos y luego de finalizadas la pruebas, los datos se graban en un archivo de extension.lvm, el cual es compatible con el programa Excel, para poder tener así un registro permanente del historial del ensayo realizado.

El diagrama de flujo utilizado para realizar el programa es el que se muestra en la Fig. 6, y la interfaz gráfica diseñada para la adquisición de datos se muestra en la Fig. 7. En ella se observan tres pantallas en donde se observa cómo varía la fuerza, el torque y la potencia del motor en función del tiempo transcurrido en la prueba; también, se observan indicadores gráficos de los sensores de temperatura y de las revoluciones (RPM).

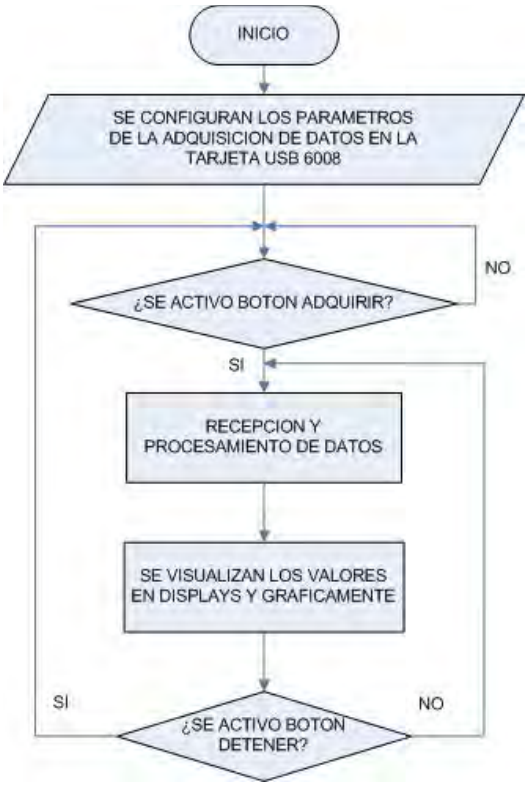


Fig. 6. Diagrama de flujo del programa de adquisición de datos.

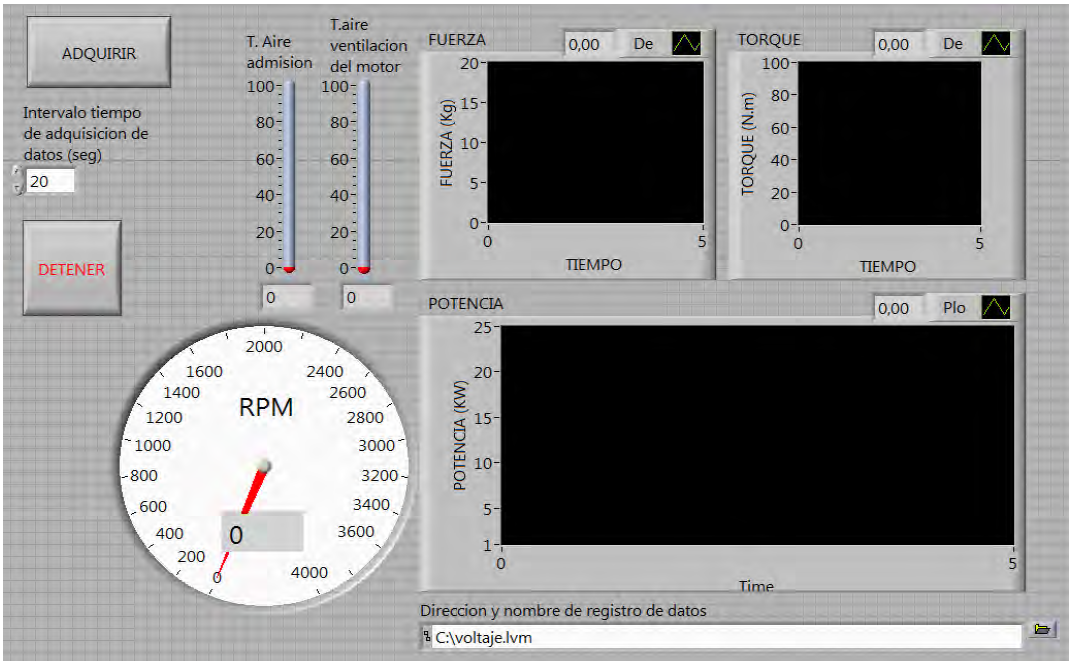


Fig.7. Interfaz de la adquisición de datos en el software LabVIEW 8.5

Adicionalmente, encontramos el botón "ADQUIRIR" y el botón "DETENER" para dar inicio y fin a la adquisición de datos; la casilla de control del intervalo usado (en *s*) para la adquisición de datos, la ruta y nombre del archivo con el cual será generado el archivo de registro.

Resultados experimentales

Para ver la funcionalidad del sistema de adquisición de datos, y del sistema de medición del consumo de combustible, se hicieron pruebas en un motor Diesel. Las características del motor y generador usados son las siguientes:

a) Motor

- Modelo: LISTER PETTER TR3.
- Tipo de motor: Diesel, 03 cilindros, 4 tiempos, refrigerado por aire.
- Relación de compresión: 9,2/1.
- Diámetro x carrera: 98,4x101,6 mm^2.
- Cilindrada: 2.320 cm^3.
- Potencia nominal: 25,9 kW a 2.500 RPM.
- Velocidad de ralentí: 850 RPM.

b) Generador

- Marca BKB
- Tipo: de corriente continua
- Potencia: 22kW
- Amperaje: 55 A
- Revoluciones: 3.000 RPM
- Voltaje: 400V
- Resistencia shunt: 300 ohm

Para la verificación del sistema de adquisición de datos, se realizaron pruebas de potencia del motor variando las RPM (mediante el acelerador) y manteniendo la carga constante en el generador (V_{campo} = 130V; I_{campo}=0,5A). Los parámetros registrados con la tarjeta USB6008, fueron la temperatura del aire de admisión ($T_{a.admisión}$), la temperatura del aire de la ventilación del motor ($T_{v.motor}$), las revoluciones por minuto (RPM) y la fuerza, los cuales fueron procesados dentro del programa realizado en el LabVIEW 8.5 para poder obtener

el torque y la potencia del motor. Las ecuaciones utilizadas para calcular el torque T y la potencia P del motor son [3]:

$$T = 9{,}81 \cdot F \cdot L_p \tag{1}$$

$$P = \frac{\pi \cdot T \cdot n}{30.000} \tag{2}$$

donde: T = Torque (N.m).
F = Fuerza (kg).
L_p= Longitud del brazo del generador (m).
n = Revoluciones por minuto (RPM).

El registro de datos fue cada 4 s. La variación de estos parámetros en función del tiempo se muestra en la Fig. 8. La medición del consumo de combustible ($C_{combustible}$) se realizó cuando el funcionamiento del motor era estable, a las revoluciones seleccionadas, y se muestra en la tabla 1, junto con los demás parámetros adquiridos.

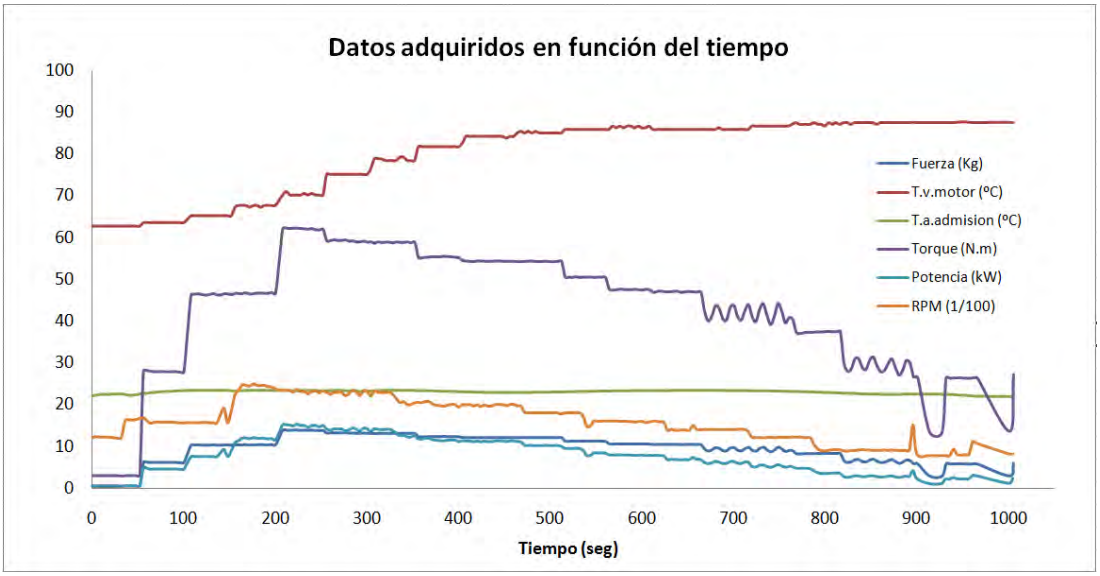


Fig. 8. Gráfica de los parámetros del motor LISTER PETTER TR3.

Tabla 1. Parámetros del motor en función de las RPM.

RPM	$T_{v.motor}$ (°C)	$T_{a.admisión}$ (°C)	Fuerza (kg)	Torque (N.m)	Potencia (kW)	$C_{combustible}$ (cm^3/s)
2.497	67,6	23,4	10,43	46,56	12,17	1,427
2.299	75,1	23,4	13,27	59,23	14,26	1,264
2.000	84,1	22,9	12,17	54,32	11,38	0,970
1.804	85,8	23,0	11,31	50,48	9,54	0,806
1.605	85,8	23,2	10,67	47,62	8,00	0,675
1.400	85,8	23,4	9,79	43,69	6,41	0,546
1.214	86,6	23,2	8,85	39,52	5,02	0,425
907	87,4	22,5	7,02	31,35	2,98	0,286
805	87,6	22,2	5,89	26,28	2,22	0,238

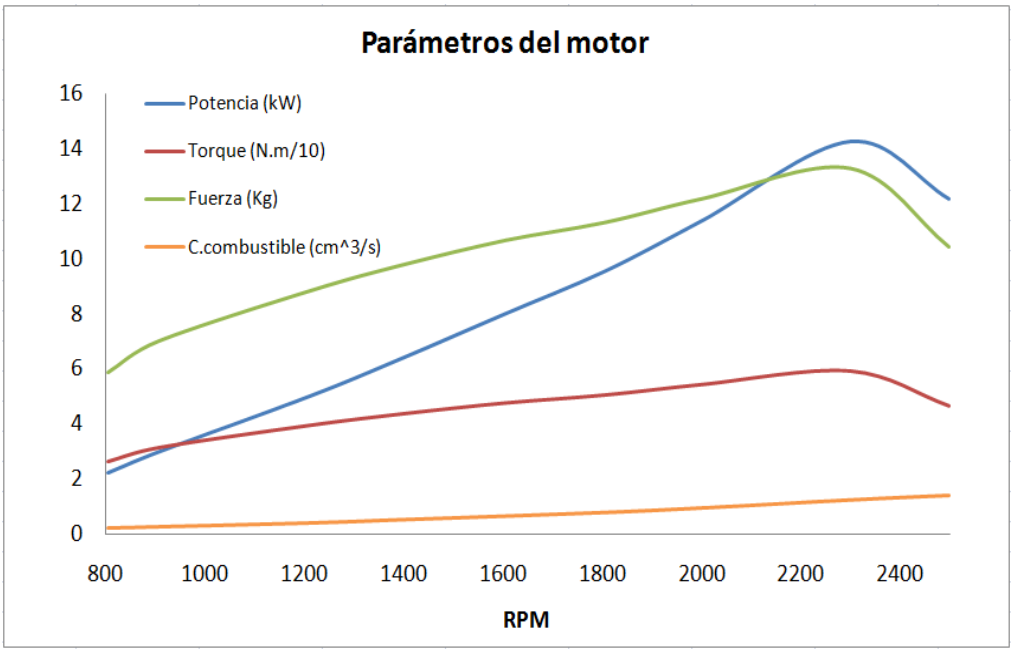


Fig. 9. Curvas del motor LISTER PETTER TR3 en función de las RPM (V_{campo} = 130V, I_{campo} = 0,5A)

Conclusiones

1. Es totalmente factible la automatización de la medición simultánea de los principales parámetros de funcionamiento de un motor de combustión con la precisión requerida. Este hecho vislumbra la posibilidad de modernizar equipos semejantes a través de un método relativamente de bajo costo, pero de alto valor agregado.
2. El sistema de acondicionamiento de señales diseñado para los sensores de temperatura y fuerza, nos permite tener señales con bajos niveles de ruido eléctrico, lo cual es importante para evitar tener que hacer operaciones de filtrado posteriores a las adquisición de datos.
3. La medición de las RPM, mediante la tarjeta USB 6008 y el software LabVIEW 8.5, instalado en una computadora Pentium 4, tiene un error del 0,5%, comparado con el medidor de revoluciones comercial instalado en el motor LISTER PETTER TR3, lo cual es un valor aceptable ya que no produce variación significativa de la potencia obtenida.
4. Con la carga seleccionada *(V_{campo} = 130V, I_{campo} = 0,5A)*, la potencia máxima se produce aproximadamente a 2300 RPM, alcanzando 14,26kW.
5. El consumo de combustible se incrementa con el incremento de las RPM casi en forma lineal, lo cual depende del régimen de trabajo del motor y del diseño de su sistema de inyección.

REFERENCIAS

1. Coughlin R., Driscoll F. “Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales”, Pearson Prentice Hall, Mexico, 1993.
2. Jeffry Travis, Jim Kring: “LabVIEW for Everyone”, Prentice Hall, USA, 2006.
3. Jóvaj, M.S., “Motores de Automóvil”, Editorial MIR, Moscú, 1982.
4. Burr Brown, “Precision instrumentation amplifier INA114”, USA, 1998.
5. Burr Brown, “Precision lowest cost isolation amplifier ISO122JP”, USA, 1993.
6. Analog Devices, “OP07 Ultralow Offset Voltage Operational amplifier”, USA, 2002.
7. National Semiconductor Corporation “LM741 Single operational amplifier”, USA, 1995.
8. National Semiconductor Corporation, “Low Power, Low Offset Dual Comparators LM293”, USA, 2002.
9. Linear Technology Corporation, “Micropower Thermocouple Cold Junction Compensator LT1025”, USA, 2000.
10. Microchip Technology Inc, “PIC 16F87X Data Sheet”, USA, 2001.
11. Eduardo García, Compilador C CSS y Simulador Proteus para Microcontroladores PIC, Alfaomega, 2008.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 4. Volumen 4(4), 10 páginas

DISEÑO DE UNA LEY DE CONTROL POR PLANITUD DIFERENCIAL PARA EL ARRANQUE SUAVE DE UN MOTOR DE CD ALIMENTADO CON UN CONVERTIDOR BUCK

Héctor Javier Sánchez López[1], Ramón Silva Ortigoza[2], Bernardo Hernández Alvarado[1] y Jesús Girón Reyes[1]

Resumen

Se desarrolla una ley de control para el sistema *Convertidor de Potencia Buck-Motor de CD de Imán Permanente* para realizar la tarea de seguimiento de trayectorias de perfiles de velocidad angular suaves asociados al eje del motor. El controlador que se propone para resolver esta tarea; es un control promedio basado en planitud diferencial, el cual proporciona robustez ante perturbaciones al sistema, y su síntesis requiere del conocimiento de los parámetros del motor de CD seleccionado, del convertidor Buck, así como de un Modulador de Ancho de Pulso para la retroalimentación dinámica del controlador automático. La síntesis experimental se realiza con la ayuda de MATLAB®-Simulink®, ControlDesk®, y la tarjeta de prototipado DS1104. El controlador basado en el modelo promedio es diseñado tomando en cuenta los factores dinámicos del convertidor y del motor de CD para su acoplamiento con carga, con el fin de resolver el problema de los transitorios abruptos en el circuito de armadura (rotor) del motor, ya que ocasionan la variación en el voltaje, la corriente y la velocidad angular del motor.

Palabras clave: Convertidor de Potencia Buck, Modulador por Ancho de Pulso, Planitud Diferencial, Motor de CD de imán permanente.

Summary

Is develops a control law for system *Buck Converter - Permanent Magnet DC Motor* for perform the task of tracking smooth trajectories to the angular velocity profiles associated with the motor shaft. The controller who is proposed to solve this task; is an average control based in differential flatness, which provides robustness to disturbance to the system, and its synthesis requires knowledge of DC motor parameters selected, the Buck converter, as well as a Pulse Width Modulator for automatic controller feedback. The synthesis is implemented with the software MATLAB®-Simulink®, ControlDesk®, and the card DS1104. The controller based on average model is designed taking into account the dynamic factors of the converter and DC motor for coupling with load, in order to solve the problem of the abrupt transient on the armature (rotor) motor because they cause the variation voltage, current and angular velocity to the motor.

Keywords: Buck Power Converter, Pulse Width Modulator, Differential Flatness, DC Motor Permanent Magnet.

Introducción

A fin de diseñar equipo, maquinaria y otros dispositivos con menor costo, confiables, flexibles e innovadores y con aplicaciones en la industria, es necesario tener en cuenta desde las primeras etapas la integración del proceso de diseño. La tendencia actual en el mundo de la electrónica obliga a construir equipos cada vez más complejos, de alto rendimiento que cumplan con las necesidades para cada entorno de trabajo. Por esta razón el diseño de dispositivos electrónicos, eléctricos, mecánicos y control inteligente por computadora deben adoptar un enfoque integrado, interdisciplinario y sinergético, lo cual persigue y estudia el área de Mecatrónica [2].

[1] Universidad Tecnológica del Valle de Toluca, Carretera del Departamento del D. F. km. 7.5, Ejido de Santa María Atarasquillo, Lerma México Teléfono: (01728) 28 5-99-69. E-mail: hsanchezl0801@ipn.mx.

[2] CIDETEC-IPN. Departamento de P. Área de Mecatrónica. Av. Juan de Dios Bátiz S/N. Esq. Miguel Othón de Mendizábal. Unidad Profesional Adolfo López Mateos. Teléfono: 57296000, México, D.F. E-mail: rsilvao@ipn.mx.

Los sistemas mecatrónicos están conformados de sistemas mecánicos y de sistemas electrónicos digitales y/o analógicos que precisan un voltaje de alimentación de Corriente Directa (CD) y/o Corriente Alterna (CA) estable. En todo sistema mecatrónico será, por tanto, necesario un sistema de adaptación de energía apropiado, que puede ser *continua-continua*, *alterna-continua*, *continua-alterna* o *alterna-alterna*. En particular los convertidores de potencia de CD a CD, son ampliamente utilizados en fuentes de alimentación conmutadas [2]. También los sistemas de control automático se han vuelto una parte importante e integral de los procesos industriales modernos y de manufactura, por ejemplo, el control automático es esencial en el control numérico empleado en las industrias manufactureras, en el diseño de sistemas de pilotos automáticos en la industria aeroespacial, en el diseño de automóviles y camiones en la industria automotriz [2]. Un método para aplicar control automático es mediante la técnica de planitud diferencial (éste ha sido originalmente formulada por Fliess [3] en 1995 y para más detalles verificar el libro de la referencia [4]), a través del análisis de sistemas lineales y no lineales con herramientas de algebra diferencial.

En este documento primero se indican los parámetros del motor de CD de imán permanente seleccionado, posteriormente, se describe el diseño e instrumentación del convertidor Buck, que más tarde alimentará al motor de CD. Se continúa con la síntesis experimental del Modulador por Ancho de Pulso (MAP), el cual permite manejar de forma apropiada al interruptor del convertidor Buck. También, se describe la conexión del sistema con la etapa de adquisición de datos y control determinada por la tarjeta prototipada DS1104. Posteriormente se presenta el modelo dinámico del sistema, con el objeto de diseñar una ley de control que realiza la tarea de seguimiento de trayectorias suaves de la velocidad angular, a través del diseño de un controlador basado en planitud diferencial. Por último se muestran los experimentos obtenidos en tiempo real con la ayuda de MATLAB®-Simulink®, ControlDesk® y la tarjeta de prototipado DS1104.

Instrumentación del Convertidor de Potencia Buck-Motor de CD de Imán Permanente

Motor de CD de imán permanente

El material comúnmente empleado para los imanes es el *Samario Cobalto* ($SmCo_5$, Sm_2Co_{17}) o el *Neodimio-Hierro-Boro* (*Nd-Fe-B*) [6]. Consecuentemente si se excede la corriente de 37 A en el devanado del rotor o es expuesto a temperaturas ambiente mayores a los 40 °C se corre el riesgo de desmagnetización, debido al sobrecalentamiento de los imanes permanentes [7]. El motor de CD de imán permanente empleado es de la marca *ENGEL,* con caja reductora de velocidad de 14.5 (ver Fig. 1(a)). En la Fig. 1(b) y 1(c) se observa la representación del circuito equivalente; donde $\boldsymbol{L_a}$ es la inductancia del rotor, $\boldsymbol{R_a}$ representa la resistencia equivalente, $\boldsymbol{i_a}$ indica la corriente del rotor, $\boldsymbol{v}$ la entrada total de energía y $\boldsymbol{E_a}$ es la fuerza electromotriz [7]. Los parámetros reales se muestran en la Tabla 1, para mayor información ver [8].

Diseño e instrumentación del convertidor Buck que gobierna un motor de CD.

Para la selección del inductor y capacitor se tiene como base a [9], para el cálculo de la inductancia con E = 24 V, v = 20 V f = 45 kHz y I_{ON} = 4 A se tiene que:

$$L = \frac{5(E-v)vT}{EI_{ON}} = 92.66\mu H. \tag{1}$$

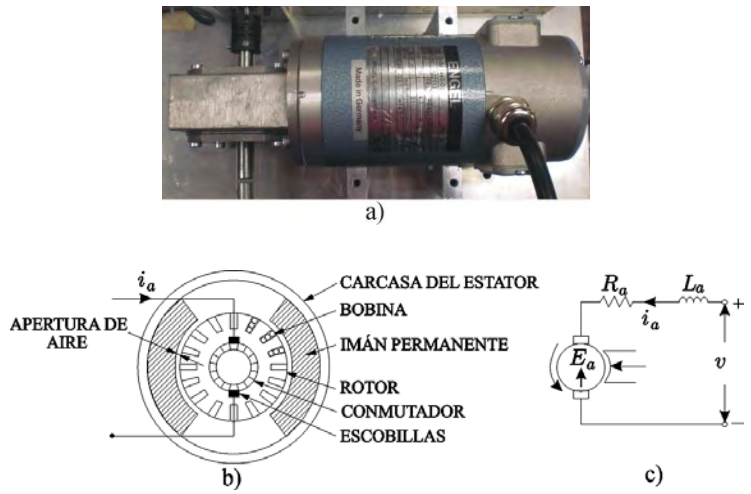


Fig. 1. a) Vista superior del motor de CD de imán permanente GNM5440, b) Configuración convencional y c) Circuito equivalente.

Tabla 1. Parámetros reales del motor de CD de imán permanente de la serie GNM5440EL marca Engel®.

Parámetro	Estilo de fuente		
	Símbolo	**Valor**	*Unidades*
Resistencia de armadura	R_a	1	Ω
Constante de par del motor	K_m	1.34	N-m/A
Constante de la fuerza contra-electromotriz	K_e	0.123	V-s/rad
Inductancia de armadura	L_a	2.15	$X10^{-3}$H
Inercia del rotor	J_m	5.63	$X10^{-4}$ kg-m^2
Coeficiente de fricción viscosa	B_m	5.08	$X10^{-4}$ N-m-s/rad

El valor del incremento de la corriente del inductor (el tiempo T_{ON} del transistor está dado por $\Delta T=(u)T$ y $T=1/f$, Donde T es el periodo, f es la frecuencia y u es el ciclo de trabajo) se calcula usando la relación:

$$V_L = L\frac{d_{i_L}}{dt} \Rightarrow \Delta i_L = \frac{V_L}{L}\Delta T. \tag{2}$$

Con la ecuación (2) se tiene a V_L como el voltaje a través del inductor, dada por (E-v). Sustituyendo los valores se tiene u=0.8, ΔT =17.77μ, Δi_L = 0.8. Con un rizo de voltaje de salida Δv=30 mV, se calcula el valor del capacitor con [10]:

$$C = \frac{(\Delta T)(\Delta i_L)}{\Delta v} = 0.463mF. \tag{3}$$

De acuerdo a estos datos la instrumentación del *Convertidor Buck-Motor de CD* se muestra en la Tabla 2 y Fig. 2. La instrumentación física del MAP, se muestra en la Fig. 3(a), este diagrama se llevó a cabo con el circuito integrado *ICL*8038, el comparador analógico de alta velocidad *LM311N* y un disparador de señal CD4093 (*Schmitt Trigger*). La frecuencia del *ICL*8038 se ajusta con el trippot, y en la salida 3 se tiene una onda triangular a 45 KHz, esta señal triangular es comparada o cotejada con un voltaje de 0 V (u=100 %) hasta +6 V (u=0 %) alimentado en la entrada 2 del *LM*311*N*. En la salida 7 obtenemos la señal MAP (ciclo de trabajo), la cual es corregida por el disparador de señal CD4093 [11] y [12]). Por último el Procesador Digital de Señales (DSP), está diseñado para resolver un conjunto de operaciones matemáticas sobre una señal continúa o analógica. El sistema típico de aplicación de un DSP dispone de un sensor como entrada que capta una señal analógica correspondiente a la magnitud a tratar, dicha señal se muestrea para ir pasando a un convertidor analógico digital (CAD), que las convierte a un formato digital para introducirlas al procesador {Fig. 3(b)}. Una vez obtenidos los resultados digitales se convierten en una señal analógica (CDA) de salida, que puede transformarse de nuevo en una magnitud física que activa al amplificador operacional mediante la entrada 2 del *LM311N* {Ver Figura 3(a)} [13].

Controlador por planitud diferencial para un Convertidor Buck-Motor de CD

El *modelo matemático de un sistema* se define como un conjunto de ecuaciones que representan la dinámica del sistema con precisión. La dinámica de sistemas ya sean mecánicos, eléctricos, térmicos, económicos, biológicos, etc., se describe en términos de ecuaciones diferenciales. Dichas ecuaciones diferenciales se obtienen a partir de leyes físicas que gobiernan un sistema determinado como las leyes de Newton para sistemas mecánicos y las leyes de Kirchhoff (LVK y LCK) para sistemas eléctricos [14]. Haciendo hincapié en las líneas anteriores, el modelo matemático conmutado del sistema convertidor de potencia Buck-motor de CD de imán permanente se muestra en la ecuación (4).

Tabla 2. Datos del convertidor Buck-Motor de CD.

Dato	Normal
Corriente de salida (i_o)	4 A
Valor de la inductancia (L)	93 µH con 4 A
Valor del capacitor (C)	470 µF a 50 V
Voltaje de entrada	24 V a 12 A
Resistencia limitadora de corriente (R)	25 Ω a 25 W
Potencia de trabajo (P)	95 W con R=1.1 Ω
Frecuencia de trabajo (f)	45 *K*Hz
Riso del voltaje de salida propuesto (Δv)	30 mV
Corriente de salida (i_o)	4 A

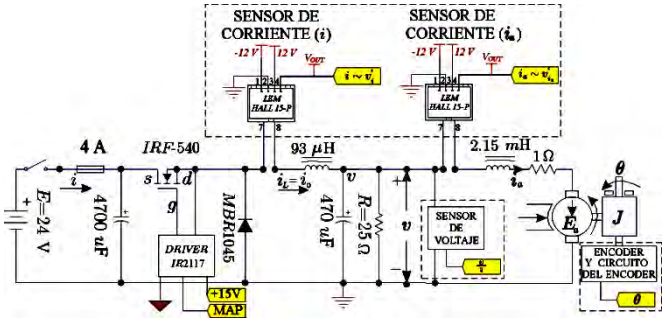
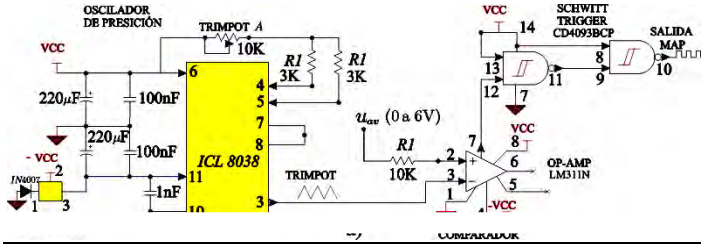


Fig. 2. Diagrama experimental del convertidor Buck.



a)

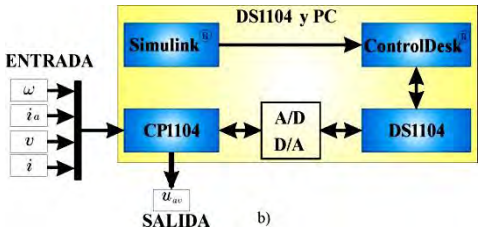


Fig. 3. a) Arriba: diagrama del Modulador por Ancho de Pulso, b) Abajo: sistema típico de la tarjeta de prototipado DS1104.

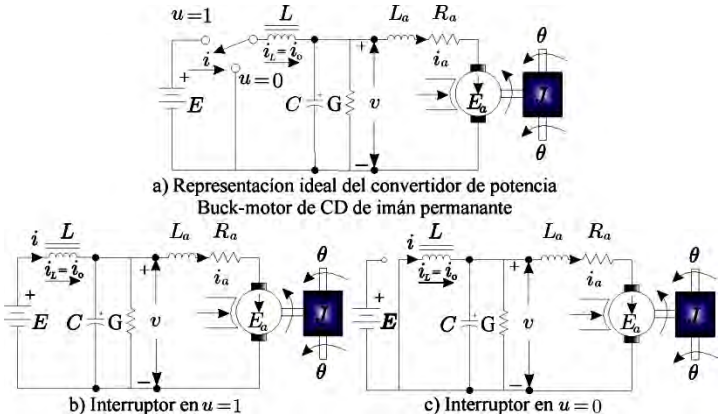


Fig. 4. a) Circuito equivalente del convertidor Buck- motor de CD de imán permanente y modelo matemático del sistema.

$$
\begin{aligned}
L\frac{di}{dt} &= -v + Eu, \\
C\frac{dv}{dt} &= i - i_a - Gv, \\
L_a\frac{di_a}{dt} &= v - R_a i_a - nk_e\omega, \\
J\frac{d\omega}{dt} &= nk_m i_a - B\omega.
\end{aligned}
\tag{4}
$$

donde:

E -	es el voltaje de la fuente de alimentación.	R_a -	es la resistencia de armadura.
i -	representa la corriente de entrada.	i_a -	es la corriente eléctrica de armadura.
L -	es la inductancia.	E_a -	representa la fuerza contra-electromotríz.
C -	es un capacitor.	θ -	es la posición angular del rotor.
R -	representa la carga.	J -	es la inercia del rotor.
v -	es el voltaje de salida del convertidor de potencia Buck.	k_e -	representa la constante de la fuerza contra-electromotriz.
L_a -	representa la inductancia de armadura.	k_m -	representa la contante de par del motor.
u -	se le considera como la entrada de control, es un interruptor y $u\ \{0,1\}$.	B -	es el coeficiente de fricción viscosa.
		n -	es la reducción de velocidad total.

Este modelo se obtuvo individualmente, primero el convertidor Buck de la referencia [2] y posteriormente el modelo matemático del motor de CD de imán permanente con caja de engranes se obtuvo de la referencia [15]. Se consideran los casos en que el interruptor conduce (interruptor colocado en $u=1$, ver Figura 4(b) y cuando el interruptor no conduce (interruptor colocado en $u=0$), ver Figura 4(c), para estos casos se aplican las leyes de *LVK* y *LCK* en el circuito equivalente del sistema; El modelo conmutado $u_{av}\{0, 1\}$ de la ecuación (4), se modifica a un modelo promedio expresado matricialmente en la ecuación (5). Este sistema matricial resulta ser *lineal* de *cuarto orden*, con la característica de ser de una entrada y una salida (Simple Input Simple Output *SISO*), con una variación de voltaje u_{av} $[0, 6]$, gracias a que la técnica de planitud diferencial permite esto. Es importante mencionar que se colocó una resistencia limitadora de corriente del circuito de armadura del motor, la cual disipa la energía del capacitor, el valor empleado es de $R = 25\ \Omega$ ($G=1/R$ con $i=Gv$).

$$\begin{aligned} L\frac{di}{dt} &= -v + Eu_{av}, \\ C\frac{dv}{dt} &= i - i_a - Gv, \\ L_a\frac{di_a}{dt} &= v - R_a i_a - nk_e\omega, \\ J\frac{d\omega}{dt} &= nk_m i_a - B\omega. \end{aligned} \qquad \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L} & 0 & 0 \\ \frac{1}{C} & -\frac{G}{C} & -\frac{1}{C} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_a} & \frac{R_a}{L_a} & \frac{nK_e}{L_a} \\ 0 & 0 & \frac{nK\omega}{J} & \frac{B}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i} \\ \bar{v} \\ \bar{i}_a \\ \bar{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{u}_{av}\frac{E}{L} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

La *planitud diferencial* consiste en el análisis matemático de los sistemas lineales y no lineales que describen un cierto problema, a través de las herramientas del algebra diferencial, además resuelve el problema de seguimiento de trayectoria de la velocidad angular proporcionando robustez ante perturbaciones al sistema. Para verificar que el sistema es controlable, se empleará el sistema matricial (5), donde:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L} & 0 & 0 \\ \frac{1}{C} & -\frac{G}{C} & -\frac{1}{C} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_a} & \frac{R_a}{L_a} & \frac{nK_e}{L_a} \\ 0 & 0 & \frac{nK\omega}{J} & \frac{B}{J} \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} \frac{E}{L} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

A partir de las matrices A y B podemos identificar si el sistema es controlable y en consecuencia plano, resolviendo el determinante de la matriz de controlabilidad dada con $C=[B:AB:A^2:B:...:A^{n-1}B]$ [3]. Tenemos un sistema de cuarto orden con $n=4$ y la matriz de controlabilidad resulta $C=[B:AB:A^2B:A^3B]$, y dado que $det\ C \neq 0$, entonces el sistema es controlable. Por otro lado para obtener la salida plana F del sistema multiplicaremos la última fila de la matriz inversa de la matriz de controlabilidad (C^{-1}) por el vector de estados $i, v, i_a, y\ \omega$ del sistema, como se muestra en la ecuación (6):

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B & AB & A^2B & A^3B \end{bmatrix}^{-1} x, \quad (6)$$

$$F=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\frac{L}{E} & 0 & \frac{L_a}{E} & \frac{JR_a}{nEk_m}\\ 0 & \frac{CL}{E} & \frac{GLL_a}{E} & \frac{JL_a+JL+GJLR_a}{nEK_m}\\ 0 & 0 & \frac{CLL_a}{E} & \frac{GJLL_a+CJLR_a}{nEK_m}\\ & & & GJLLa\\ 0 & 0 & \frac{CLL_a}{E} & \frac{CJLL_a}{nEK_m}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}i\\ v\\ i_a\\ \omega\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\frac{CJLL_a}{nEK_m}\end{bmatrix}\omega.$$

Donde la salida plana es $F=\omega$. De aquí, se tiene que todas las variables de estado del sistema *i, v, i_a,* y la entrada de control *u* son parametrizables en términos de la velocidad angular ω y de sus derivadas. Usando las ecuaciones (5), la parametrización diferencial del control u_{av} en términos de la salida plana está dada por:

$$u_{av}=\left[\frac{JL_aLC}{EnK_m}\right]F^{(4)}+\left[\frac{BL_aLC+JR_aLC+JL_aLG}{EnK_m}\right]F^{(3)}+\left[\frac{BL_aLG+JR_aLG++JL+BR_aLC+nK_eK_mLC+JL_a}{EnK_m}\right]F^{(2)}$$
$$+\left[\frac{BGR_aL+nK_eK_mLG+BL+BL_a+JR_a}{EnK_m}\right]\dot{F}+\left[\frac{BR_a+n^2K_eK_m}{EnK_m}\right]F.$$

Se elige como control del sistema a la derivada de más alto orden por un controlador auxiliar ($F^{(4)}=v_{aux}$) denominada *variable de control auxiliar*:

$$u_{av}=\left[\frac{JL_aLC}{EnK_m}\right]v_{aux}+\left[\frac{BL_aLC+JR_aLC+JL_aLG}{EnK_m}\right]F^{(3)}+\left[\frac{BL_aLG+JR_aLG++JL+BR_aLC+nK_eK_mLC+JL_a}{EnK_m}\right]F^{(2)}$$
$$+\left[\frac{BGR_aL+nK_eK_mLG+BL+BL_a+JR_a}{EnK_m}\right]\dot{F}+\left[\frac{BR_a+n^2K_eK_m}{EnK_m}\right]F. \qquad (7)$$

Es decir, si F^*es el perfil deseado de la velocidad angular del rotor, es necesario elegir a v_{aux}, de tal forma que cuando $t\rightarrow\alpha$ entonces $F\rightarrow F^*$. El controlador auxiliar v_{aux} deberá realizar el seguimiento de una trayectoria suave para la velocidad angular, además el término integral proporciona robustez al sistema en lazo cerrado ante perturbaciones constantes de carga acotadas en el eje del motor. Para lograr esta tarea se muestra a continuación el valor de v_{aux}:

$$v_{aux}=\left[F^{(4)^*}(t)\right]-\gamma_4\left[F^{(3)}-F^{(3)^*}(t)\right]-\gamma_3\left[F^{(2)}-F^{(2)^*}(t)\right]-\gamma_2\left[\dot{F}-\dot{F}^*(t)\right]-\gamma_1\left[F-F^*(t)\right]-\gamma_0\int_0^t\left[F-F^*(t)\right]dt. \qquad (8)$$

Derivando con respecto al tiempo la expresión integro-diferencial resultante de la ecuación (8), se concluye que el error de seguimiento $e=F-F^*$ está dado por: $e^{(5)}+\gamma_{4e}{}^{(4)}+\gamma_3e^{(3)}+\gamma_2e^{(2)}+\gamma_1e^{(1)}+\gamma_0e$. El polinomio característico del sistema en lazo cerrado es dado por:

$$p(s)=s^{(5)}+k_4s^{(4)}+k_3s^{(3)}+k_2s^{(2)}+k_1s+k_0. \qquad (9)$$

Se escogen las ganancias del controlador, la selección adecuada de los coeficientes constantes, k_4, k_3, k_2, k_1, k_0, como coeficientes de un polinomio *Hurwitz* de quinto orden, garantiza una estabilidad exponencial a cero del error de seguimiento. Por lo tanto, se escogió un polinomio de la siguiente forma:

$$p(s)=(s+\alpha)(s^2+2\zeta\omega_ns+\omega_n^2)^2 \qquad (10)$$

El polinomio de la ecuación (11) se desarrolla y se iguala con el polinomio de la ecuación (10) para determinar los valores de k_0 a k_4. Se debe tomar en cuenta a: $\alpha>0$ *y* $\zeta;\ \omega>0$. De aquí, se tiene:

$$\begin{aligned}&k_4=\alpha+4\zeta\omega_n,\\ &k_3=+4\zeta\alpha\omega_n,+2\omega_n^2,+4\zeta^2\omega_n^2,\\ &k_2=4\zeta\omega^3+2\alpha\omega_n^2+4\zeta^2\alpha\omega_n^2,\\ &k_1=\omega_n^4+4\zeta\alpha\omega_n^3,\\ &k_0=\alpha\omega_n^4,\end{aligned}\quad ;\quad \begin{aligned}&\alpha=1/100, && \zeta=0.707\\ &\omega=900, && k_0=6.561X10^{11},\\ &k_1=6.5612X10^{11}, && k_2=2.0616X10^{11},\\ &k_3=3.2394X10^{11}, && k_4=2.5452X10^{11}.\end{aligned} \qquad (11)$$

Para comprobar la eficacia del controlador u_{av}. El siguiente paso es instrumentar esta ley de control con el objetivo de realizar el control en lazo cerrado del sistema en tiempo real, para lograrlo, emplearemos

MATLAB®-Simulink®, ControlDesk® y la tarjeta de prototipado DS1104. Referente a la Fig. 5(a) en el bloque denominado s*alida plana nominal* se programa la trayectoria deseada del sistema F^* (perfil deseado de la velocidad angular del rotor ω). Las entradas de este bloque son cuatro: los tiempos de inicio y final de la trayectoria denotados por t_i y t_f respectivamente y el valor de la velocidad angular del rotor asociados al tiempo inicial y final de la trayectoria denotados por $\varpi(t_i)$ y ϖ (t_f) respectivamente (ver apéndice). En el bloque e*stados nominales* una vez que se genera la salida plana nominal F^* se generan las derivadas de primer $F^{(1)*}$, segundo $F^{(2)*}$, tercer $F^{(3)*}$ y cuarto orden $F^{(4)*}$. En este bloque se programan los estados nominales deseados para: ω^*, i_a^*, v^*, i^* y u_{av}*. En el bloque denominado *controlador promedio* los valores de ω, i_a, v, i y u_{av} serán medidos en tiempo real; con la ayuda de las entradas analógicas del *DS1104*, donde podemos convertir estos valores analógicos a digitales con bloque denominado *ADC* (se emplean las entradas analógicas *DS1104ADCC5*, *DS1104ADCC6, DS1104ADCC7*) para validar el esquema de control promedio, establecido por planitud diferencial obtenemos a la salida del controlador Є {0,1} mediante la salida *DAC* (se emplean las salida digital *DS1104DACC1*). La salida del controlador u_{av} (mostrado en la Fig. 5(a), se conecta a la entrada denominada u_{av} del diagrama mostrado de la Fig. 3(a), la cual prácticamente varía desde 0 V hasta 6 V. El último bloque corresponde a la instrumentación del encoder, el cual lee velocidad angular (se emplean los bloques correspondientes del encoder *DS1104ENCSETUP*), para este caso emplearemos la velocidad angular como entrada al *DS1104* la cual es medida mediante pulsos, la resolución del encoder Omrom® es de 2000 pulsos por revolución, estos pulsos son convertidos a radianes por segundo mediante la expresión 2*3.1416/2000.

Conclusión

Los resultados experimentales se muestran en lazo cerrado del sistema *Convertidor de Potencia Buck-Motor de CD de Imán Permanente*, usando la ley de control basada en planitud diferencial determinada por la ecuación (7). El sistema presentará robustez gracias al valor integral, de hasta un 1 A, con variación de la velocidad angular de 1.2 rad/s, retornando al seguimiento de trayectoria deseada en 1 s, ver Fig. 6(f) y 6(i), es importante mencionar que dependiendo de la aplicación que se tenga para el sistema será robusto y habrá quien de acuerdo a sus necesidades este sistema no lo será. Los productos desarrollados son: un convertidor Buck, dos circuitos acondicionados para medir corriente, un circuito acondicionado para medir voltaje, un circuito encoder-DS1104 y una tarjeta PWM. Se programó una ley de control automático experimentalmente, mediante el uso de la propiedad planitud diferencial. Este controlador realiza la tarea de seguimiento de trayectorias de perfiles de velocidad angular suaves asociados al eje del motor {Ver Figs. 6(a) a 6(e)}, con la ayuda de la tarjeta DS1104. También el controlador promedio, elimino los factores dinámicos del sistema resolviendo el problema de los transitorios abruptos al arranque del motor de CD. Como trabajo futuro es posible eliminar la fuente de voltaje bipolar con el circuito integrado *ICL7660* el cual a partir de un voltaje positivo en la entrada 8 se obtiene a la salida del conector 5 un voltaje negativo igual al de la entrada. Otra mejora respecto a las fuentes de alimentación de 15 V es posible utilizar un circuito (*AM1P-2415S*). Se recomienda instrumentar la ley de control con un dSPic® que tenga interacción con MATLAB®-Simulink®.

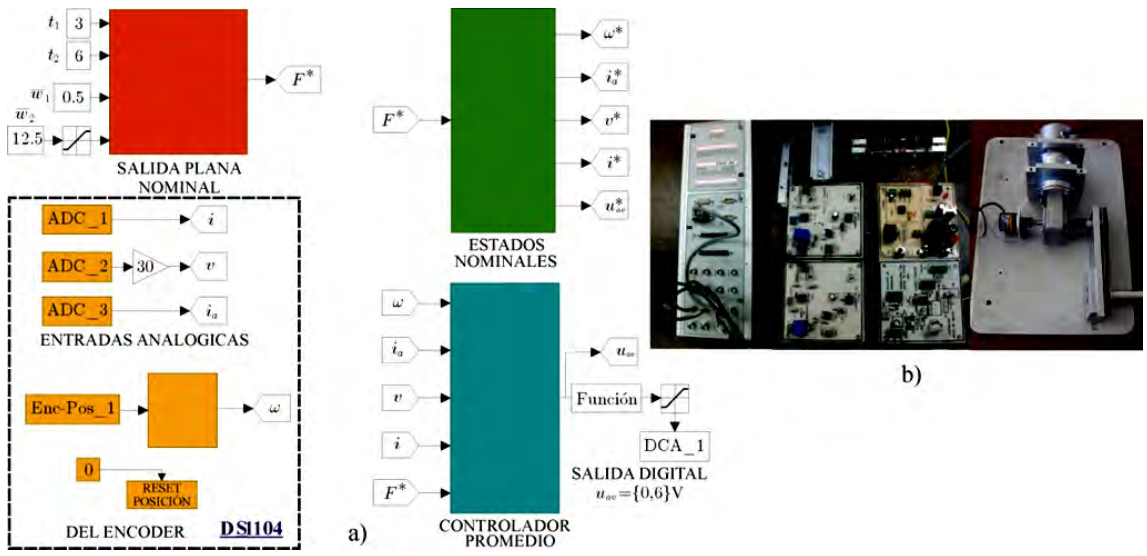


Fig. 5. a) Programa realizado en MATLAB®-Simulink®, ControlDesk® y la tarjeta de prototipado DS1104, b) Instrumentación del convertidor Buck- motor de CD de imán permanente.

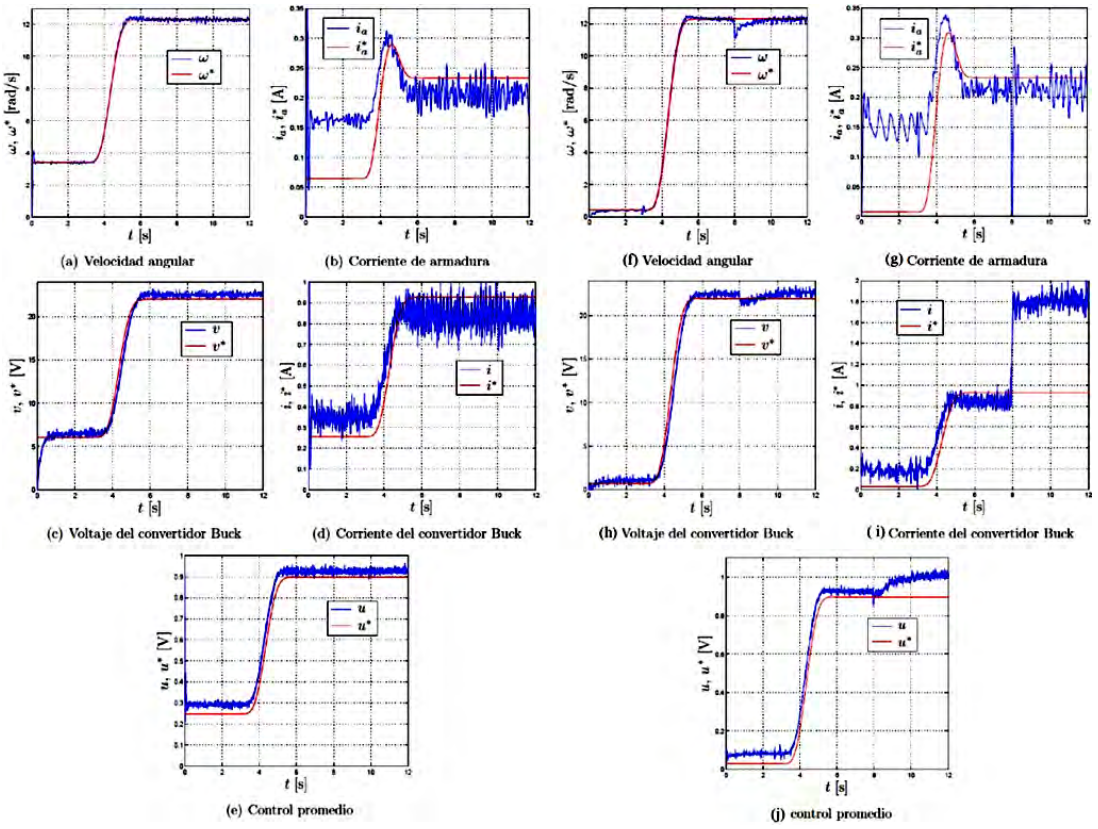


Fig. 6. (a - e): Resultados experimentales con carga nominal, (f - j): resultados experimentales con variación de carga.

La respuesta ante una carga mecánica aproximadamente constante pequeña de un valor de τ_L = 0,010Nm, aplicada en la flecha del motor de CD de imán permanente mediante un freno magnético. La respuesta en lazo cerrado del controlador por planitud diferencial, activado en t = 8 s, con la transferencia de velocidades angulares deseadas como: $\varpi(t_i)$ = 0.4 rad/s y $\varpi(t_f)$ = 12.5 rad/s. El comportamiento de las corrientes del sistema (i y i_a), se observó que el seguimiento de trayectoria hacia su referencia programada cambia de forma repentina aproximadamente 0.4 A, cuando se activa la carga en el eje del motor y la velocidad angular no cambia su valor final programado, debido a que el controlador corrige a través de un término integral del error de velocidad determinada por la ecuación (7). También se verificaron los transitorios abruptos del sistema convertidor Buck-motor de CD de imán permanente, tomando en cuenta los factores dinámicos del convertidor y motor de CD con su acoplamiento con carga nominal. Con el fin de resolver el problema de los transitorios abruptos se procedió a verificarlos, los cuales se muestran en la Fig. 7. En la gráfica de la Figura 7(a) se introduce un escalón de 0 V a 12 V en un tiempo inicial de t_i = 3 s y un tiempo final de t_f = 8 s.

La corriente de armadura, el voltaje del convertidor Buck y la corriente del convertidor Buck se observó en las gráficas de las Figs. 7(b), 7(c) y 7(b), de acuerdo a estas gráficas implicaría trabajar con picos de corrientes y voltajes altos (transitorios abruptos), con respecto a los valores mostrados en la Tabla 2, motivo por lo cual se procedió a definir una trayectoria suave (ver ecuación (A1)) para el sistema.

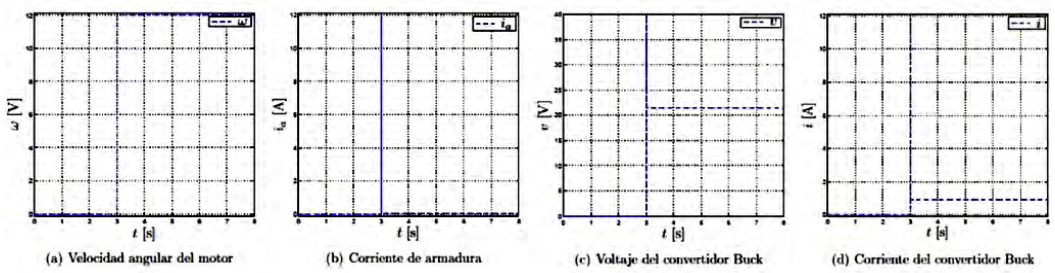


Fig. 7. Transitorios abruptos del sistema.

Reconocimientos

H. J. Sánchez López agradece el apoyo económico a la Unidad de Apoyo Administrativo del Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT), a la Universidad Tecnológica del Valle de Toluca y al CIDETEC-IPN por el apoyo brindado para realizar este trabajo.

Apéndice

En la definición de la trayectoria se aplican los resultados generales al caso particular cuando el perfil de velocidad angular nominal se específica usando el polinomio de Bézier, el cual tomara un valor de velocidad angular inicial $\varpi(t_i)$, durante un tiempo inicial t_i, posteriormente el polinomio $\varphi(t, t_i, t_f)$, interpolara suavemente entre los valores de *0* y *1*, para $\epsilon(t_i, t_f)$, hasta llegar a la velocidad angular final $\varpi(t_f)$. El polinomio de Bézier es el siguiente (Ver ecuación (A1)):

$$\varphi(t,t_i,t_f)=\begin{cases}0 & \text{para } t\le t_i\\ \left(\frac{t-t_i}{t_f-t_i}\right)^5\left[252-1050\left(\frac{t-t_i}{t_f-t_i}\right)+1800\left(\frac{t-t_i}{t_f-t_i}\right)^2\right. & \\ \left.-1575\left(\frac{t-t_i}{t_f-t_i}\right)^3+700\left(\frac{t-t_i}{t_f-t_i}\right)^4-126\left(\frac{t-t_i}{t_f-t_i}\right)^5\right] & \text{para } t\in(t_i,t_f)\\ 1 & \text{para } t\ge t_f\end{cases}$$

$$\omega^*(t)=\varpi(t_i)+[\varpi(t_f)-\varpi(t_i)]\varphi(t,t_i,t_f) \qquad \text{(A1)}$$

Para la síntesis de la trayectoria los tiempos de inicio y final se escogió a t_i = 3 s y t_f = 6 s, con la transferencia de velocidades angulares deseadas asociadas a t_i y t_f, seleccionadas como: $\varpi(t_i)$ = 0.4 rad/s y $\varpi(t_f)$ = 12.5 rad/s. En consecuencia, el valor correspondiente al voltaje de la terminal *v(t)*, varía entre el valor inicial y final siguiente: $v(t_i)$=0.7149 V y $v(t_f)$=22.3412 V (Ver Figura A1).

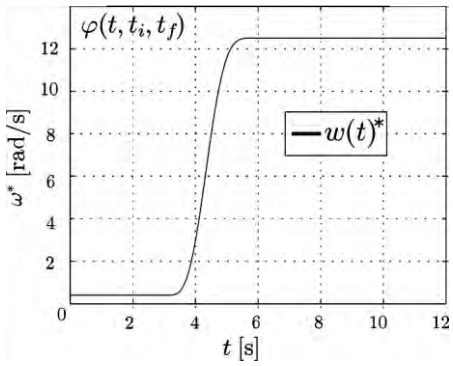


Fig. A1. Trayectoria de referencia para la energía total del convertidor Buck-motor de CD de imán permanente.

Referencias

[1] Harashima F, Tomizuka M, Fukuda T. Año (1996), Mechatronics-`What is it, why, and how?' IEEE/ASME Trans on Mechatronics 1:1-4.
[2] Silva Ortigoza R. Año (2006). Metodologías de Control Automático en Electrónica de Potencia", Tesis Doctoral, en CINVESTAV-IPN, Departamento de ingeniería eléctrica área de mecatrónica. pp. 15-22.
[3] Fliess M, Levine J, Martin P and Rouchon P. Año (1995.) "Flatness and defect of non-linear systems: introductory theory and examples", Int. Jour. of Control, 61(6): pp. 1327-1361.
[4] Sira-Ramirez H. and Agrawal S. K. Año (2004), "Differentially Flat Systems", Marcel Dekker, New York.
[5] Stephen Umans D, "Electric Machinery". Ed. New York. Año (2003). Mc. Graw Hill. Cap. 7.
[6] Philips Semiconductors, "Power Semiconductor Applications Philips Semiconductors", en Motor Control. Capítulo 3, pp. 45-49.
[7] Stephen Chapman J. Año (2002). "Electric Machinery and Power System Fundamentals", Ed Australia, BAE SYSTEMS AUSTRALIA, Mc Graw Hill, pp. 386-390.
[8] Hernández Guzmán V. M. Año (2003). "Control PI Generalizado de Sistemas no Lineales", Tesis Doctoral, en CINVESTAV-IPN Departamento de ingeniería eléctrica área de mecatrónica.
[9] Abraham Pressman I. Año 1998. "Switching Power Supply", Waban Massachusettse. McGraw-Hill, pp. 1-35.
[10] Texas Instrument. Año (1999). "Understanding Buck Power Stages in Switchmode Power Supplies", U.S.A., Texas Instruments Incorporated, pp. 1-32.

[11] Franco S. Año (1998) “Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits”, WCB McGraw-Hilll.
[12] Coughlin R. F. and Driscoll F. F. Año (1999) “Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales”, Pearson Prentice Hall.
[13] Wanhammar L. Año (1999). “DSP Integrated Circuits”. ACADEMIC PRESS, 1999.
[14] Ogata K. Año (2003). Ingeniería de control moderna. Pearson Prentice Hall, pp. 57 – 133.
[15] J. R. García Sánchez. Año (2008). Diseño y Construcción de un Robot Móvil Aplicando el Método de Campos Potenciales en la Evasión de Obstáculos, Tesis de Maestría, en CIDETEC-IPN Centro de Innovación y desarrollo Tecnológico en Cómputo, pp 53 – 61.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 14. Volumen 4(4), 7 páginas

CAMINATA EN UN ROBOT BIPEDO HUMANOIDE

Alejandro García Miranda[1], Eduardo Morales Sánchez[2]

Resumen

En la actualidad, se ha intensificado el estudio e implementación de sistemas mecatrónicos capaces de imitar a complejos sistemas biológicos como el ser humano, un ejemplo de esto es la realización de la función de caminata con estructuras bípedas. El presente artículo trata sobre una metodología para imitar la caminata del ser humano basándose en el modelo de péndulo invertido con equilibrio de los centros de masa (COM) de cada articulación. Se utiliza un robot bípedo humanoide (RBH1-IPN) desarrollado en el CICATA-IPN Unidad Querétaro de 14 GDL conformado por 14 servomotores tipo RC. Los 14 GDL del RBH1-IPN están repartidos en 3 GDL para cada pierna, 3 GDL para cada brazo y 1 GDL para cada hombro. La metodología consiste en estudiar las fases de la caminata humana, utilizar el modelo de péndulo invertido y obtener un polígono de soporte para la caminata.

Palabras clave: Caminar, Equilibrio, Grados de Libertad, Polígono de Soporte, Robot bípedo.

Abstract

Today, it has intensified the study and implementation of mechatronic systems that can mimic complex biological systems as the human, an example of this is the realization of bipedal walking structures. This article discusses a methodology to mimic the human being walking based in the model of inverted pendulum with balanced center mass (COM) of each joint. It uses a humanoid bipedal robot (RBH1-IPN) developed in the CICATA-IPN Querétaro of 14 DOF with 14 RC servo type. The 14 RBH1-IPN DOF's are in 3 DOF for each leg, 3 DOF for each arm and 1 DOF for each shoulder. The methodology consists of studying the phases of human walking, using the inverted pendulum model and get a polygon of support for the walk.

Keywords: Walking, Balance, Degrees of Freedom, Circle of Support, Biped Robot.

Introducción

El ser humano es un sistema perfecto, extremadamente complejo y eficiente; el análisis de los procesos humanos y la idea de poder imitarlos mediante el diseño y construcción de maquinas es un tema en pleno desarrollo. Un tópico de estas investigaciones es el análisis, estudio y diseño de robot bípedos humanoides (robots que pueden desplazarse con dos piernas simulando la caminata de una persona). Este tipo de robots son sistemas mecatrónicos potenciales de uso industrial para transporte de cargas, transporte de personas en terrenos irregulares, rescates, operaciones en ambientes donde el ser humano pueda sufrir accidentes. La forma bípeda es uno de los principales retos tecnológicos en el diseño de robots humanoides.

Al caminar, los humanos requerimos utilizar el mínimo de energía y procesamiento por parte del cerebro para mantener una caminata con ritmo moderado, esta es la razón por la que ha captado peculiar interés en la comunidad científica y tecnológica, ya que esto conlleva varios desafíos, uno de ellos es la programación de secuencias y movimientos para lograr la caminata bípeda en sus diferentes fases. La presente investigación desarrolla una metodología para obtener la caminata en un robot bípedo de 14 GDL en total y con 6 GDL en las extremidades inferiores; para el desarrollo de la caminata en el robot bípedo se busco el mejor punto de equilibrio para la caminata del robot buscando el mínimo consumo de energía.

[1] Alumno de Ingeniería Mecatrónica, Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán.
[2] Profesor Investigador CICATA-IPN Querétaro.

Fundamentos de la caminata bípeda

El ser humano esta tan acostumbrado a su forma de caminar, que pierde conciencia sobre el proceso en sí: una coordinación perfecta de pies, cadera, torso, brazos, hombros, cabeza. Si vamos mas a fondo en este proceso, se requiere un gran desarrollo motor y control neuronal. Por eso, los humanos a temprana edad fallamos en nuestros intentos de equilibrarnos y caminar hasta que por la madurez motriz y por la experiencia, se desarrolla una compleja organización neuronal y una sincronización del movimiento de extremidades para ejecutar patrones de movimientos coordinados que permitan la caminata bípeda.

Para lograr que un robot bípedo humanoide RBH1-IPN pueda caminar se propone la siguiente metodología:

1) Entender las fases del caminado de acuerdo a una descripción detallada.
2) Uso del modelo de péndulo invertido.
3) Obtención empírica del polígono de soporte para caminata del RBH1-IPN.

Fases del caminado

El caminado del ser humano es un proceso de locomoción complejo, debido a que depende de la complexión del individuo, tamaño y peso de miembros, etc. Esto trae como consecuencia que cada individuo tenga su forma particular de caminar. Durante la acción de desplazamiento cada parte del cuerpo tiene un movimiento específico que ayuda a mantener el equilibrio y hace que el desplazamiento erguido sea posible

El ciclo de caminata humana es diferente en cada persona pero es posible generalizarla como se puede observar en la figura1. De acuerdo a la figura 1, la caminata está constituida por diferentes posiciones denominadas fases: fase de soporte único, fase de soporte doble, fase de postura y fase de balanceo. La caminata comienza con las dos extremidades inferiores extendidas y sobre el suelo donde el equilibrio no es muy significativo.

La dificultad comienza al levantar uno de los dos pies para realizar la *fase de soporte único* (Fig. 2), durante esta fase el pie en el suelo sirve como soporte del peso de todo el cuerpo, también puede distinguirse esta fase por que el otro pie deja el suelo o solo la punta del pie esta en contacto con el y termina cuando ese mismo pie vuelve a tocar el suelo con el talón

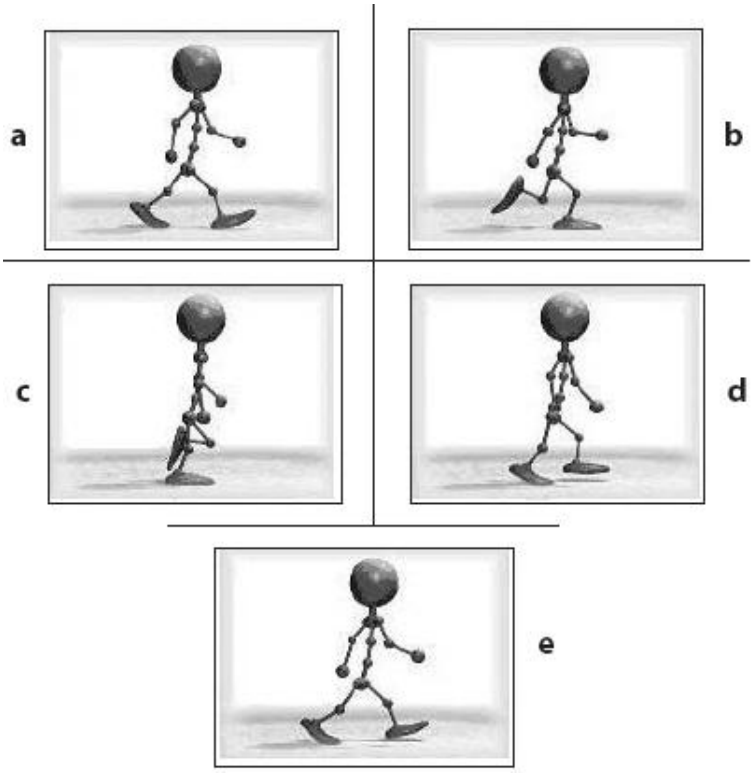


Fig. 1. Ciclo de caminata del ser humano. [3]

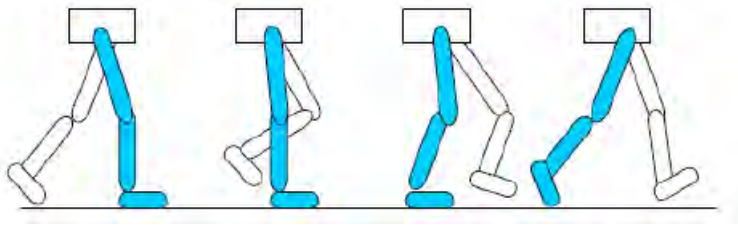


Fig. 2. Fase de soporte único. [3]

La *fase de soporte doble* se caracteriza por que los dos pies se encuentran en contacto con el suelo, compartiendo el soporte del peso. El comienzo de esta fase se da cuando el talon de un pie toca por primera vez el suelo y termina cuando la punta del pie deja el contacto con el suelo. Esta etapa es corta pero indispensable ya que en ella se da el traspaso del peso del cuerpo de una pierna a otra (Fig. 3).

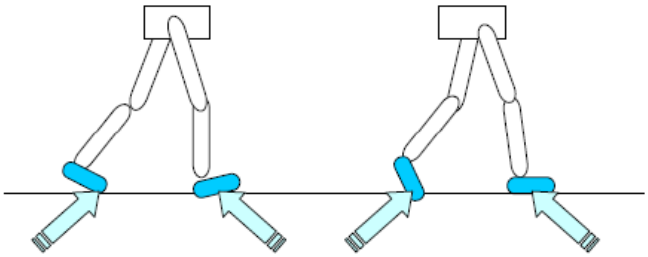


Fig. 3. Fase de soporte doble

La *fase de postura* es el periodo de tiempo durante el cual la pierna analizada se encuentra en contacto con el suelo. Inicia cuando el talón de ese pie toca el suelo y termina cuando los dedos del mismo pie dejan el suelo.

La *fase de balanceo* es el periodo en el cual la pierna analizada se encuentra balanceándose hacia enfrente para avanzar.

El cuerpo debe acelerar y desacelerar en cada paso porque el soporte de las piernas no se encuentra debajo del cuerpo en todo momento. Por lo tanto, es debido a esta variación de la aceleración que el hombre puede caminar a velocidades altas de desplazamiento.

Al principio el pie de soporte se encuentra adelante del cuerpo. Mientras se balancea y el cuerpo llega a estar justo encima del pie de soporte hay una desaceleración. Finalmente, desde este momento hasta que el pie de soporte se encuentra completamente atrás del cuerpo hay una aceleración (ver Fig. 4).

Modelos simplificados de caminata para robots bípedos

En el estudio de la caminata se requiere definir conceptos importantes como el *Centro de Masa (COM)*, el cual es el punto de masa concentrada dentro del robot, y el *Polígono de Soporte* que se define como la figura geométrica plana formada en el suelo por uno o dos pies, dependiendo del estado de la caminata. Otro concepto es el *Punto de Momentos Cero (ZMP)* el cual es el punto dentro de la superficie de contacto, en el cual la reacción neta del piso actúa cuando el robot esta dinámicamente estable.

El modelo más utilizado para el análisis y modelado de la caminata de un robot bípedo es el modelo de péndulo invertido o de centro de masa COM. Existen varios modelos de péndulo invertido, clasificándose en: modelo simple, con compensación de gravedad y por eslabones. El modelo simple de péndulo invertido considera al robot como un punto de masa concentrada pero que tiene la desventaja de que no toma en cuenta la acción de la pierna flotante. El modelo de péndulo invertido con compensación considera la acción de la pierna flotante. Este modelo se basa en la interacción de 2 péndulos invertidos: un péndulo invertido para el cuerpo y la pierna de apoyo y otro péndulo invertido para la pierna flotante. Y por último, el modelo de péndulo invertido de 2 eslabones. Este modelo separa en dos partes al robot: piernas y cuerpo superior (ver Fig. 5).

Para el estudio de la cinemática del RBH-1, se ocupara el modelo del Péndulo Invertido Simple, el cual toma en cuenta el COM (Centro de Masa) y parte de la posición inicial de cada articulación en un determinado instante generando así un modelo simplificado (ver Fig. 6).

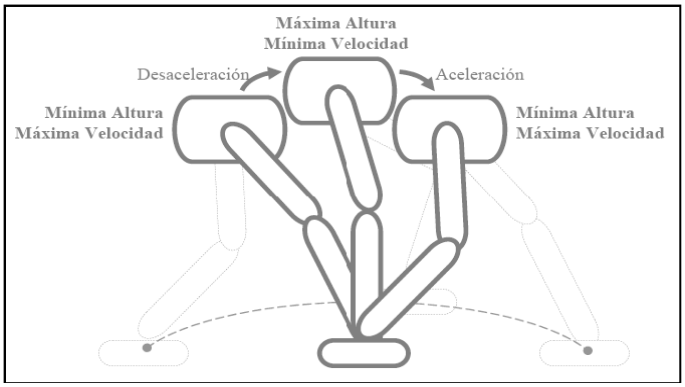


Fig.4. Descripción de la aceleración y posición de la pierna de apoyo. [3]

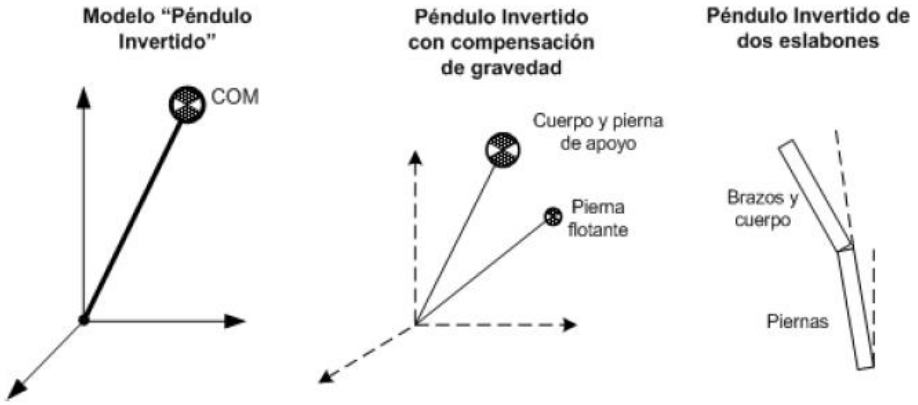


Fig. 5. Modelos Simplificados de un Robot Bípedo. [9]

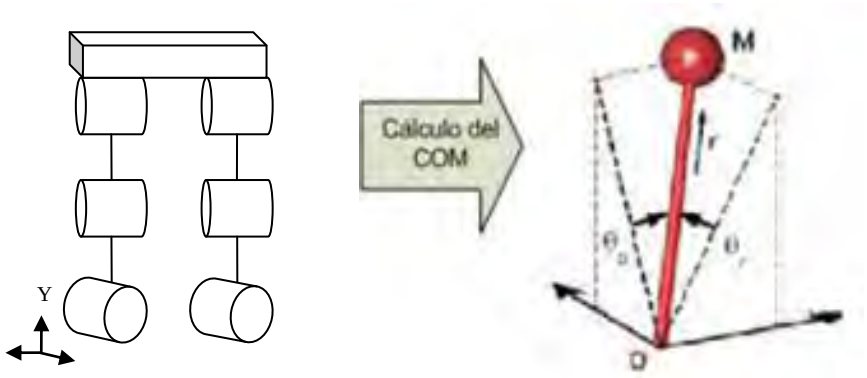


Fig. 6. Modelo del Péndulo Invertido considerando el Centro de Masa (COM) en Robot Humanoide de 6 GDL's.

De donde se puede deducir:

$$\bar{x} = \frac{\sum_i m_i x_i}{\sum_i m_i} \; ; \; \bar{y} = \frac{\sum_i m_i y_i}{\sum_i m_i} \; ; \; \bar{z} = \frac{\sum_i m_i z_i}{\sum_i m_i}$$

Siendo $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$ las coordenadas del COM durante su movimiento, y $[x_i, y_i, z_i]$ las coordenadas del COM de cada uno de los eslabones del robot. El origen se encuentra en la pierna de apoyo (punto O).

Para encontrar las coordenadas de cada eslabón se utilizará cinemática directa de modo que:

$$x_i = f_{xi}(q_1, q_2, q_3 \dots q_n)$$
$$y_i = f_{yi}(q_1, q_2, q_3 \dots q_n)$$
$$z_i = f_{zi}(q_1, q_2, q_3 \dots q_n)$$

Las ventajas de emplear este método junto con el modelo del robot son:

1) Es un proceso sistemático basado en pruebas experimentales.
2) Se genera la caminata de forma indirecta, sin tener control de velocidades, aceleraciones y trayectorias de cada eslabón del robot.
3) Para cada modo de caminata se requerirá una serie completa de pruebas.

Robot Bípedo Humanoide RBH1-IPN

El RBH que se utilizara para desarrollar el movimiento de caminata es un robot diseñado en el CICATA del IPN Unidad Querétaro con servomotores tipo RC, con estructuras metálicas planas tipo "U" y "L" utilizadas para construir las articulaciones rotoides y eslabones. En la figura 7 se muestra el robot que tiene por nombre "RBH1-IPN".

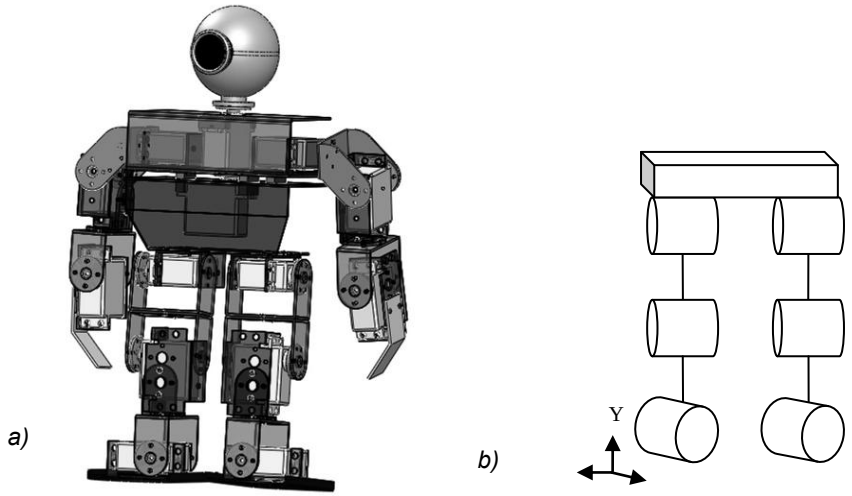


Fig. 7. a) Robot bípedo humanoide "RBH1-IPN"; b) 6 GDL de las extremidades inferiores.

En la figura 7b se puede observar la estructura de las extremidades inferiores del RBH1-IPN con 3 GDL para cada pierna. El proceso de caminata a desarrollar estará centrado en las 6 GDL y en el centro de masa en cada posición de la caminata. Se asignaran secuencias predeterminadas para el movimiento de las articulaciones basadas en pruebas de laboratorio.

Obtención experimental del polígono de soporte en caminata para el RBH1-IPN.

De acuerdo a la metodología propuesta, a continuación se procede a obtener el polígono de soporte del proceso de la caminata.

El proceso se realiza con el robot RBH1-IPN haciendo una secuencia de movimientos, a cada movimiento se le designará el Punto de Momentos Cero (ZMP) con la ayuda de un amperímetro que nos indicará la cantidad de corriente que consumirán los servomotores situados en las articulaciones, esta cantidad de corriente debe ser lo mas próximo a cero para poder ser considerado como ZPM. Considerando el origen como el punto de apoyo, se obtendrán las coordenadas de esos puntos, y cada punto se convertirá en una arista del polígono.

La Fig. 8 muestra las posiciones junto con los puntos donde el amperímetro nos muestra una lectura de casi cero amperes. Las coordenadas de cada ZPM obtenidas en cada posición (Véase Tabla 1) nos muestran la trayectoria (ver Fig. 9) y las aristas del polígono de soporte durante la caminata (ver Fig. 10) del robot RBH1-IPN. El polígono de soporte nos indica cual es la zona en la que nuestro robot RBH1-IPN esta en equilibrio al caminar consumiendo así, la mínima energía.

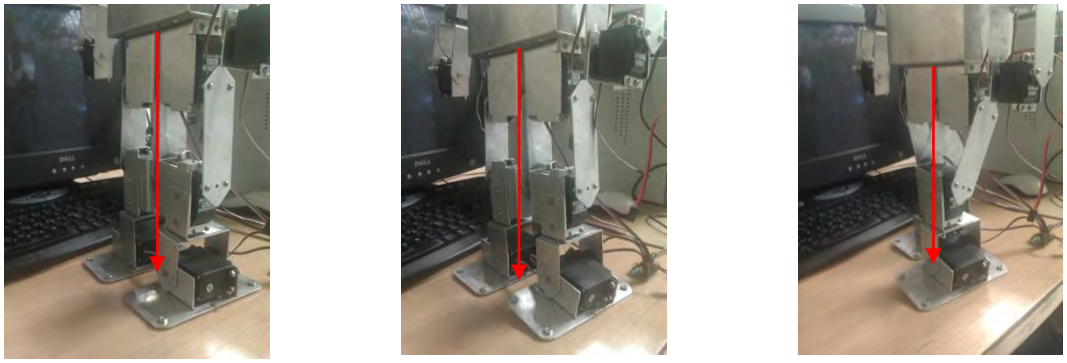


Fig. 8. Descripción de posiciones del robot RBH1-IPN al caminar indicando el ZMP.

Tabla 1. Coordenadas de ZPM's

Posición	X	Y
0	6.3	8.8
1	6.3	9.5
2	9.2	9.5
3	12.3	10.3
4	12.3	7.9
5	12.3	8.8

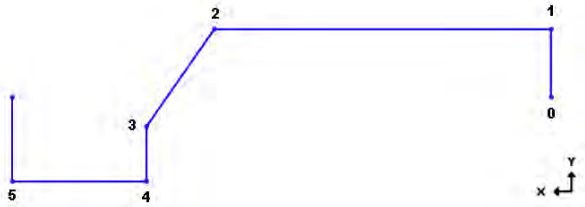


Fig. 9. Trayectoria del Punto de Momento Cero en la caminata del robot RBH1-IPN

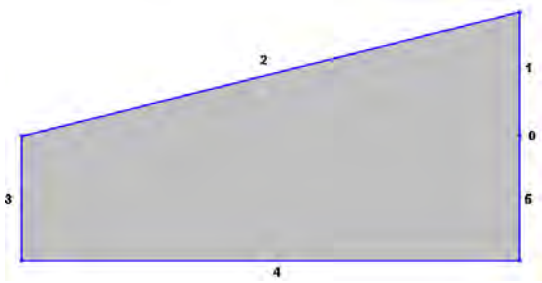


Fig. 10. Polígono de Soporte durante la caminata del robot RBH1-IPN

Conclusiones

El proceso de caminata para el robot RBH1-IPN es una manera simplificada de la compleja función de caminar en el ser humano, ya que a comparación de este, el robot RBH1-IPN presenta solo 6 GDL's que consideramos básicos para caminar.

Mediante el método empírico basado en la demanda de corriente de cada servomotor, obtuvimos la zona en la cual el robot RBH1-IPN esta en equilibrio, mientras no se rebasen los límites de esta zona (llamado también polígono de soporte) el robot tendrá una caminata estable. La referencia [9] plantea una distribución de Grados de Libertad más compleja e indica que son los movimientos principales, en cambio, la distribución de los GDL's en este proyecto fue menor, obteniendo una equilibrio aceptable y un movimiento en línea recta similar al del ser humano, además, el diseño de las extremidades inferiores del RBH1-IPN permite buena estabilidad en el avance aun sin la necesidad de contrapeso.

Cabe mencionar que la caminata se logra pero en lazo abierto, es decir no existe retroalimentación para ajustar las desviaciones. El método empírico empleado en esta investigación contribuiría al avance de proyectos introductorios a la robótica [1], [3], ya que resulta fácil de comprender y de aplicar, antes de la implementación de sistemas para el equilibrio.

Para un trabajo a futuro se recomienda poner un sensor del tipo giroscopio y empleando el polígono de soporte como referencia, obtener los ZMP's del robot RBH1-IPN para caminata en lazo cerrado.

Reconocimientos

Alejandro García Miranda agradece la amable atención, dedicación, apoyo y confianza por parte del Dr. Eduardo Morales Sánchez. También al cariño, apoyo y sacrificio de la familia García y las grandes lecciones del Sr. Emiliano Miranda y Sra. Emelia Montiel. Gracias.

Referencias

[1] Contreras Martínez, J. J. Talamantes Ortega, E. Chacón Castillo, J. A. González Hernández, J. L. Rey Castillo, J. N. Araiza Delgado, C. *"Diseño y Construcción de un Robot Bípedo"*. Revista Internacional de Educación en Ingeniería. Volumen 1. No. 1. 2008. Instituto Tecnológico de Delicias. Cd. Delicias, Chihuahua, México. pp. 1-14.

[2] González Núñez, E. Aceves López, A. Ramírez Sosa Morán, M. I. "Análisis Cinemático de un Bípedo con fases: Pie de soporte-Pie en movimiento". IEEE 5º Congreso Internacional en Innovación y Desarrollo Tecnológico, 10 al 12 de octubre de 2007, Cuernavaca, Morelos, México.

[3] "Anatomy of a walk". 10-julio-2011. http://www.rubberbug.com/walking.htm

[4] Pickel, A. 2003. 5-julio-2011. http://robotics.ee.uwa.edu.au/theses/2003-Walking-Pickel.pdf

[5] Kawamura Lab's Home Page. 12-julio-2011. http://www.kawalab.dnj.ynu.ac.jp/welcome-e.html

[6] Carvajal Rojas, J. H. Maurício Rosário, J. "*Modelo matemático con quaternions para la cinemática de la marcha de un robot bípedo*". Revista Épsilon No 6. Enero - junio de 2006. p.p 7-14.

[7] Barrientos, A. Peñin, L. Balaguer, C. Aracil, R. *Fundamentos de Robótica*. Segunda edición. 2007. McGraw Hill. Madrid. 512 paginas.

[8] Kajita, S.; Nagasaki, T.; Kaneko, K.; Yokoi, K.; Tanie, K. "*A running controller of humanoid biped HRP-2L, in Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA)*". Vol. 2. October 2005. pp,. 1167-1173.

[9] Larriva, J. Guillermo, E. Trelles, J. Vele, O. "*Diseño y construcción de un robot bípedo experimental*". Ecuador. 2006.

[10] Furuta, T. "*Biped Walking Using Multiple-Link Virtual Inverted Pendulum Models*". Vol.11. No.4. Journal of Robotics and Mechatronics. (1999). pp. 304-309.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 22. Volumen 4(4), 6 páginas

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA EXPERTO BASADO EN LÓGICA DIFUSA PARA EL CONTROL DE UN SISTEMA MIMO

Jorge Ortega Moody[1], Eduardo Morales Sánchez[1], Estela Pérez Resendiz[1], Agustín Barrera Navarro[1], Maximiano Ruíz-Torres[1].

Resumen

El propósito de este artículo es dar a conocer el diseño e implementación de un control experto basado en lógica difusa para un sistema con múltiples entradas y salidas (MIMO), además de los beneficios obtenidos en la producción. Para la implementación del sistema experto se utilizó una planta productora de harina nixtamalizada, la cual cuanta con un sistema SCADA. Con el fin de utilizar las herramientas del SCADA de monitoreo y control de la planta, el sistema experto se embebió en este para poder manipular los set-point's de los controladores en campo. El sistema experto es entrenado por un operador para que posteriormente emule las acciones de control del operador y se obtengan los requerimientos deseados. Con este sistema se logra que la temperatura del material a la salida se estabilice más rápido ante alguna perturbación o ajuste de set-point's en comparación a si se tuviera solamente la intervención de un control PID. Esta acción de rápido establecimiento a la temperatura deseada, permite que se deseche menos material por estar fuera de especificación.

Palabras clave: Lógica difusa, SCADA, Sistema experto.

Introducción

La incorporación de lógica difusa en sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) y el acceso remoto a estos, incrementan y facilitan el control de la producción de plantas industriales [1]. El uso de un control experto ofrece la flexibilidad de suplir al operador de la planta utilizando conocimientos obtenidos del mismo operador cargados previamente en las reglas de conocimiento del sistema experto y de esta forma manipular los Set-Point de los controladores de los actuadores y alcanzar los objetivos de producción [2]. Para la implementación de este sistema se utilizó una planta productora de harina de maíz nixtamalizado basado en el método de extrusión, el cual consta de dos etapas de procesamiento: Bombeo y cocimiento. Esta planta está térmicamente acoplada y es un sistema MIMO (Múltiples entradas, Múltiples salidas) en las que se justifica la incorporación de controles alternativos.

Arquitectura de control

El sistema de control de la planta se divide en dos niveles: SCADA y sistema experto. En la Fig.1 se muestra la incorporación del sistema experto embebido en el SCADA que posee actualmente la planta. Esto permite al sistema experto utilizar toda la infraestructura de comunicación del SCADA para transmitir y monitorear las variables de proceso de la planta.

Planta

El conocimiento del comportamiento de la planta a controlar es básico en el diseño de un sistema experto. Se debe de conocer los efectos de cada uno de los actuadores y cómo influyen en la producción además de la dependencia que tienen entre sí [3].

La planta para la cual se diseñó e implementó el sistema experto es una productora de harina de maíz nixtamalizado y funciona bajo el principio de extrusión. La planta consta de dos etapas: Bombeo y cocimiento como se muestra en la Fig. 2.

[1] CICATA-QRO, Cerro Blanco 141 Colinas del Cimatario QRO, 4421267916. Correo: jorgemoody@gmail.com.

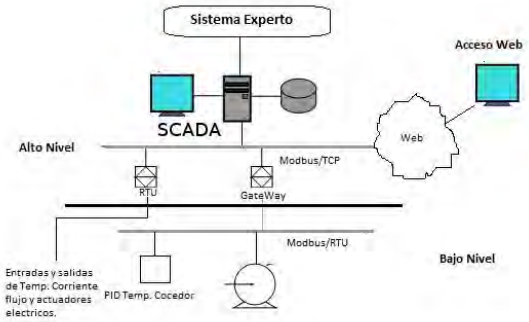


Fig.1. Arquitectura de control.

En esta planta, los objetivos para el operador humano son obtener una temperatura deseada en el material al final del proceso con un cierto flujo másico o rendimiento. Mismos objetivos que el sistema experto debe de cumplir emulando el comportamiento del operador y reemplazándolo en la manipulación los Set-Point's de los PID's en las dos etapas.

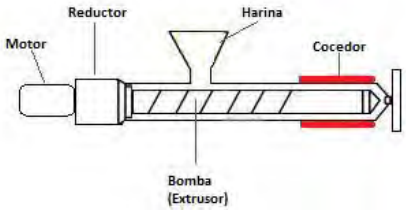


Fig.2. Planta productora de harina nixtamalizada.

Etapa de bombeo

La función de esta etapa es bombear el material a través del cocedor. Es necesario poder conocer y controlar el flujo másico de la harina durante todo el proceso, ya que los cambios de este, afectan la temperatura de salida del producto final.

Al incrementar el flujo másico, el material tiene un menor tiempo de residencia en el cocedor provocando una disminución en la temperatura del material a la salida del proceso. Por este motivo es necesario que cuando el flujo másico aumente, la cantidad suministrada por el cocedor también aumente para compensar y siempre tener una temperatura deseada al final de todo el proceso. Esta etapa cuenta con un motoreductor controlado por un variador de frecuencia con comunicación Modbus/RTU.

Etapa de cocimiento

En esta etapa se incrementa la temperatura hasta alcanzar la temperatura de gelatinización. Esta temperatura varía dependiendo del tipo del maíz y se localiza en el rango de 70 - 80 [4] Celsius considerando que un aumento de esta puede alterar la calidad del producto final [5]. Esta etapa cuenta con una resistencia eléctrica cilíndrica utilizando un TRIAC y con un control PID de temperatura con comunicación Modbus/RTU. Además, esta etapa cuenta con termopares tipo J para monitorear la temperatura del cocedor, del material a la entrada y a la salida.

Estructura del sistema experto

El sistema experto utiliza la arquitectura de un controlador difuso, el cual está compuesto por los siguientes componentes: Fuzzyficación, conjunto de reglas, máquina de inferencia y desfuzzyficación. Para establecer la estructura del controlador es necesario conocer: el número de entradas y salidas, tipo de función de membrecía, método de inferencia, numero de reglas de conocimiento y el método de desfuzzyficación.

Las entradas del sistema experto son los dos objetivos de producción de la planta: rendimiento o flujo másico (Kg/h) y temperatura del material a la salida. Estos dos set-point's son variables y dependen de factores externos. Por ejemplo, el requerimiento de rendimiento puede variar de un turno laboral al otro y depende de la demanda que el producto pueda tener. La temperatura de salida también tiene un rango de variación y depende del tipo de maíz y humedad en la que se esté trabajando.

Las salidas del sistema son dos: la velocidad del extrusor la cual incrementa el rendimiento y la temperatura en el cocedor la cual aumenta la temperatura del material a la salida del proceso. La estructura del control experto propuesta se muestra en la Fig. 3.

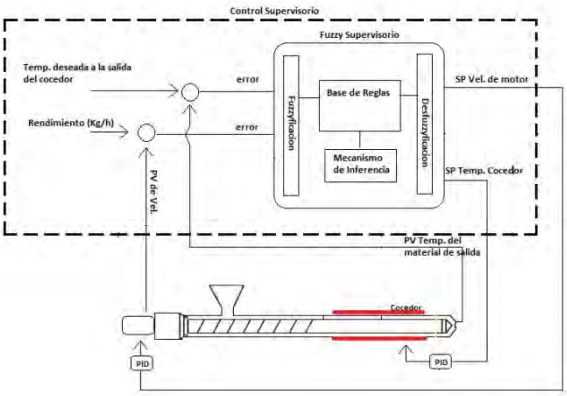


Fig.3. Estructura de sistema experto.

Funciones de membrecía

El tipo de función de membrecía y el número de ellas en cada entrada está determinado por el número y tipo de entradas, en este caso se optó por cinco funciones de membrecías triangulares por entrada de cada error (ver Fig. 4), ya que este tipo de función reduce el tiempo de fuzzyficación y desfuzzyficación debido a la simplicidad de las operaciones que se tienen que realizar para fuzzyficar los valores [6]. A continuación se muestra en la Fig. 5 las ecuaciones para determinar las valores difusos en funciones de membrecías triangulares. En esta figura se muestran tres tipos de operaciones una para la función de membrecía izquierda, otra para la derecha y otra para utilizarlas en el resto que no se localicen en los extremos.

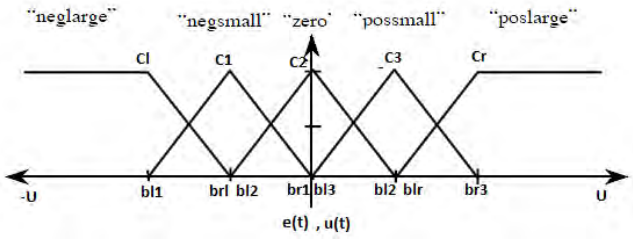


Fig. 4. Funciones de membrecía triangulares en entradas y salidas.

	Triangular membership functions
Left	$\mu^L(u) = \begin{cases} 1 & \text{if } u \le c^L \\ \max\left\{0, 1 + \frac{c^L - u}{0.5w^L}\right\} & \text{otherwise} \end{cases}$
Centers	$\mu^C(u) = \begin{cases} \max\left\{0, 1 + \frac{u-c}{0.5w}\right\} & \text{if } u \le c \\ \max\left\{0, 1 + \frac{c-u}{0.5w}\right\} & \text{otherwise} \end{cases}$
Right	$\mu^R(u) = \begin{cases} \max\left\{0, 1 + \frac{u-c^R}{0.5w^R}\right\} & \text{if } u \le c^R \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$

Fig. 5. Ecuaciones de funciones de membrecías triangulares.

El universo de discurso que se utilizó en el error de temperatura de salida es de U{-80,80} con el fin de que por mas grande que sea el error, nunca se encuentre fuera de este rango pues las especificaciones de la temperatura del material de salida se encuentran entre 70 a 80 grados. El universo de discurso para la entrada del error de la velocidad del motor es de U{-60,60} pues el motor a utilizar es de cuatro polos con 1800 rev/min a 60 Hz con un reductor de radio 30 por lo que a la salida se obtiene una velocidad máxima de 60 rev/min. Para las salidas los universos de discurso son U{-100,100} debido a que se puedan utilizar los actuadores en un rango de -100 % a 100%. A continuación se muestra el diseño de entradas y salidas.

Los valores asignados a las bases "b" y centros "c" fueron equitativamente distribuidos como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de de centros y bases de funciones de membrecía.

	e(t) Vel	e(t) Temp	u(t) Vel	u(t) Temp
Cl	-40	-53.33	-66.66	-66.66
C1	-20	-26.66	-33.33	-33.33
C2	0	0	0	0
C3	20	26.66	33.33	33.33
Cr	40	53.33	66.66	66.66
bl1	-40	-53.33	-66.66	-66.66
brl	-20	-26.66	-33.33	-33.33
bl2	-20	-26.66	-33.33	-33.33
br1	0	0	0	0
bl3	0	0	0	0
bl2	20	26.66	33.33	33.33
blr	20	26.66	33.33	33.33
br3	40	53.33	66.66	66.66

Reglas

El número de reglas del sistema experto está ligado al número de entradas, salidas y el número de funciones de membrecía en cada una de ellas. En este caso son dos entradas y dos salidas con cinco funciones de membrecía lo que nos da $5^2 = 25$ reglas para cada salida, 50 reglas para todo el controlador. El comportamiento de la planta es la siguiente: la temperatura de salida se incrementa al incrementar la temperatura en el cocedor y/o disminuyendo el flujo másico. Cabe mencionar que el Set-Point más importante a cumplir es la temperatura de salida, ya que si esta temperatura no se alcanza, el material no presenta cambios fisicoquímicos y es material fuera de especificación. Por este motivo se utiliza el Set-Point de velocidad cuando la acción del cocedor no es suficientemente rápida para alcanzar la temperatura de salida deseada. El conocimiento de las reglas del sistema experto están regidas por las siguientes reglas mostradas en la Fig. 6.

Máquina de inferencia y desfuzzyficación

El método de inferencia utilizado es el de intersección representado por una AND e implementado por medio del valor mínimo. El método de desfuzzyficación que se utilizó es el de centro geométrico. Estos dos métodos son de bajo consumo de procesamiento para que esta aplicación pueda operar en tiempo real. La salida del controlador por medio de intersección y desfuzzyficación por medio de centro geométrico está dada por (1) [6].

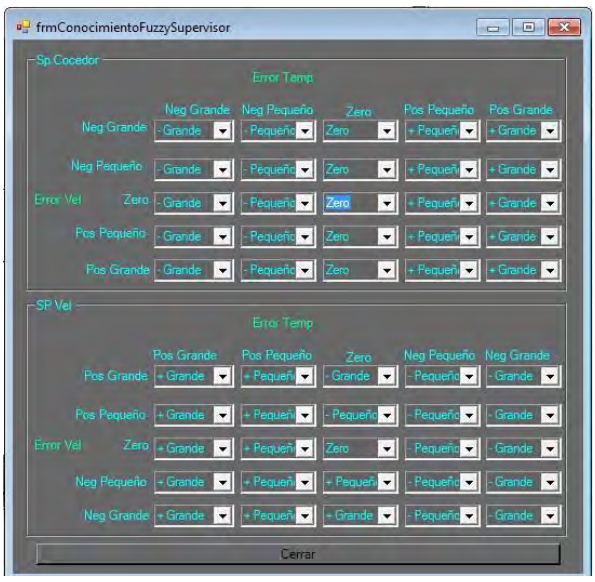


Fig. 6. Conjunto de reglas del controlador.

$$u = \frac{\sum_{i=1}^{R} b_i \mu_i}{\sum_{i=1}^{R} \mu_i} \tag{1}$$

donde: b – es el valor numérico de la base de cada función de membrecía.
μ – es el valor de pertenencia en cada función de membrecía.
R – Numero de funciones de membrecía.

Implementación y sintonización del controlador

En este apartado se busca un mejor desempeño del controlador por medio de los siguientes ajustes: sintonización de las funciones de membrecía y manipulación de las reglas en la base de conocimiento. Debido a la optimización por medio de ajustes, es necesario que en la interfaz a implementar, se puedan cambiar los valores de los centros y bases de las funciones de membrecía así como las reglas de conocimiento [2].

La implementación del sistema experto se realizó en el SCADA ya mencionado con *Visual Basic.Net*. En la Fig. 7 se muestra la estructura del sistema experto embebido en el SCADA. En la Fig. 8 se muestra la implementación de cada una de las entradas y salidas.

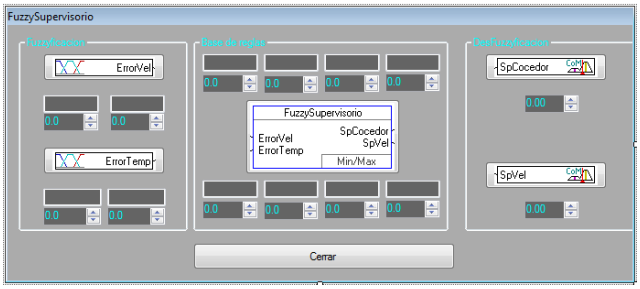


Fig. 7. Sistema experto embebido en SCADA.

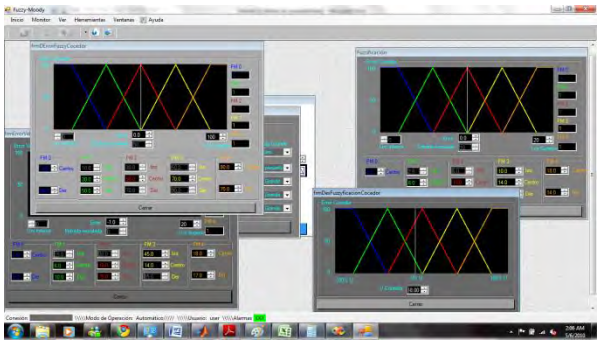


Fig. 8. Implementación de entradas y salidas del sistema experto.

Resultados y conclusión

Las pruebas del sistema se realizaron en el laboratorio de mecatrónica del CICATA-QRO. El sistema experto se sintonizó por medio de la manipulación de las bases y centros de las funciones de membrecía. En la Fig. 9 se muestra como se manipulan los Set-Point's del Cocedor (Línea celeste) , y de Velocidad (Línea Café) para alcanzar las condiciones deseadas de temperatura de salida(Línea Naranja) y la velocidad de producción deseada (línea roja).

A diferencia del uso de un solo PID en el cocedor, con este control se redujo el tiempo de estabilización de la temperatura de salida del material un 30% ante cualquier perturbación o cambio en los Set-Point's, lo que resulta menos material fuera de especificación de cocción.

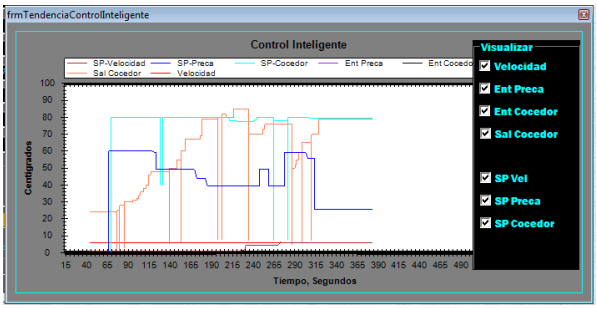


Fig. 9. Resultados

Reconocimientos

Se agradece al ICYTDF y al CONACYT por el apoyo recibido para la realización de este proyecto.

Referencias

[1] Li, H-Y. "Web-based remote monitoring and control for process plants", *in Proc of Int Conf on machine Learning and Cybernetics*. 2005 pp. 936-945.

[2] Kirubashankar, R. krishnamurthy, K. indra, J. "Remote monitoring system for distributed control of industrial plant process," *Journal of Scientific & Industrial Research*. vol. 68. 2009. pp. 858-860.

[3] De Carvalho, E. Rixey, R. Shepley, J. Gomes, J. Guerlain, J. "Design of a Nuclear Power Plant Supervisory Control System", *Systems and Information Engineering Design Symposium*. 2006. pp. 251-256.

[4] Zepeda-Bautista, R. Carballo-Carballo, A. Hernández-Aguilar, C. "Interacción Genotipo-Ambiente en la Estructura y Calidad del Nixtamal-Tortilla del Grano de Híbridos del Maíz", *Agrociencia*.2009. vol. 43, pp. 695-706.

[5] Bello Pérez, L. Osorio Díaz, P. Agama Acevedo, E. Núñez Santiago, C. "Propiedades Químicas, Fisicoquímicas y Reológicas de Masas y Harinas de Maíz Nixtamalizado", *Agrociencia*., vol. 36, pp. 319-328, Abril 2002.

[6] Passino, K. Yurkovich, S. *Fuzzy Control*. Primera Edición. 1998. Addison-Wesley. California. Pp. 32-49.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 25. Volumen 4(4), 8 páginas

CONTROL DE UN ROBOT MANIPULADOR VIRTUAL, UTILIZANDO UNA INTERFAZ CEREBRO-COMPUTADORA

Neyli-Han Montaño Martínez[1], Gabriel Sepúlveda Cervantes[1], Marco Antonio Román Pérez[1]

Resumen

En este trabajo se presenta el desarrollo de una Interfaz Cerebro-Computadora cuyo objetivo es posicionar el efector final de un robot manipulador virtual de tres grados de libertad, mediante la interpretación de las ondas cerebrales, emitidas por el usuario, para poder leer la actividad cerebral del usuario utilizamos la diadema EPOC de la empresa Emotiv, la cual cuenta con 14 electrodos que nos permiten hacer la adquisición de las señales, para posteriormente hacer su interpretación. El robot virtual se presenta utilizando el software Unity 3D. La comunicación de la diadema EPOC con este software se realiza mediante librerías de enlace dinámico en C++.

Palabras clave: interfaz cerebro-computadora, realidad virtual, robot.

Summary

This paper presents the development of a brain-computer interface which aims to position the end effector of a virtual robot manipulator with three degrees of freedom, through the interpretation of brain waves, emitted by the user to read brain activity user use the headset Emotiv EPOC company, which has 14 electrodes that allow us to acquire the signals, and later to its interpretation. The virtual robot is presented using the Unity 3D software. The EPOC headset communication with this software is done through dynamic link libraries in C + +.

Keywords: brain-computer interface, virtual reality, robot.

Introducción

Las *Interfaces Cerebro-Computadora* o *Brain-Computer Interface* (*BCI*) tienen los siguientes componentes: un dispositivo de captura para las señales eléctricas del cerebro (en este caso el EPOC), programas para adquisición y procesamiento de las señales, aplicación que convierte las ondas cerebrales en comando para la computadora, ya sea por comparación o por valores preestablecidos **[1]**.

Este tipo de interfaz se puede clasificar de la siguiente forma:

- ✓ *Invasivas:* Cuando son implantadas directamente en el cerebro, y por lo cual proporcionan una mayor fidelidad de las señales, su principal aplicación es en el área de prótesis para devolver el movimiento a alguna extremidad.
- ✓ *No Invasivas:* Como su nombre lo denota este tipo de BCI no se implanta de forma directa en el cerebro, sino que la adquisición de las señales se realiza empleando electrodos, colocados en la superficie del cuero cabelludo. La desventaja es que la señal que llega a los electrodos suele ser muy normalmente es baja en comparación con las invasivas.

Para este trabajo se desarrolló una interfaz no invasiva, la cual permite posicionar un robot virtual; el ambiente virtual que se le presenta al usuario consta de 4 perspectivas, las cuales son: frontal, lateral izquierda, superior y una vista isométrica la cual provee una ubicación espacial. El desplazamiento del robot se trabaja de forma independiente en cada uno de sus ejes, con la finalidad de tener una perspectiva completa del desplazamiento del robot, para desplazar el robot, se trabaja con la cinemática directa e indirecta.

[1] Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo, "Unidad Profesional Adolfo López Mateos", Av. Juan de Dios Bátiz s/n casi esq. Miguel Othón de Mendizábal. Col. Nueva Industrial Vallejo, Delegación Gustavo A. Madero C.P. 07700, México D.F., Tel. 5729 6000, Ext. 52522. E-mail: gsepulvedac@ipn.mx

Antecedentes

Las interfaces cerebro-computadora se basan en las lecturas provenientes de un *electroencefalograma* (*EEG*) **[2]**, el cual consiste en el registro y evaluación de los potenciales eléctricos generados por el cerebro y obtenidos por medio de electrodos situados sobre la superficie del cuero cabelludo. Dentro del electroencefalograma se presentan las siguientes ondas **[3]**, las cuales reflejan el estado de consciencia del individuo: *delta* de menos de 4 Hz, *theta* de 4-8 Hz, *alpha* de 8 a 12 Hz, *beta* de aproximadamente 12-30 Hz, *gamma* de 30-80 Hz.

Las interfaces también se pueden clasificar de acuerdo a las causas que generan cambios en la actividad cerebral del usuario **[4]**, tomando en cuenta esta característica, se tiene la siguiente clasificación:

- ✓ *Exógenos*, en estas BCI se necesita de una estimulación externa, la cual provoca la actividad cerebral que es utilizada por la BCI. Este tipo de BCI son con las que actualmente se está trabajando y utilizan la técnica de *potenciales evocados* (*PEs*), dentro de los cuales destacan los *potenciales evocados* en estímulos *visuales* (*PEV*) y *potenciales evocados auditivos* (*PEA*), como su nombre lo denota se basan externos visuales y auditivos respectivamente.

  Ambas técnicas se basan en detección de la onda *P300* la cual puede ser registrada en un electroencefalograma y se encuentra relacionada a la acción de toma de decisiones, la duración de esta onda es de unos 300ms en el EEG.

  En la técnica de *PEV*, se muestran una matriz de imágenes, y el procedimiento que se lleva a cabo es iluminar primero las filas y después las columnas, para detectar, cual es la actividad que el usuario desea llevar a cabo.

  Respecto a los *PEA*, se provoca un estímulo sonoro, el cual genera la onda *P300*, dependiendo de las siguientes características: intensidad, duración y frecuencia.

  Una de las desventajas de estas técnicas es que al estar basadas en la detección de la onda *P300*, el funcionamiento de la BCI, depende del individuo, de su concentración, la frecuencia con la que se presenta el estímulo para que la onda pueda ser detectada por el sistema, entre otros. Sin embargo, como principal característica se puede mencionar que se requiere de poco entrenamiento

- ✓ *Endógenos*, en estas interfaces no se necesita estimulación externa, para que se genere la actividad cerebral necesaria para que el sistema responda, esto quiere decir, que el usuario debe ser capaz de concentrarse y generar los patrones de onda que se necesitan para ejecutar alguna actividad, para esto, se requiere de una serie de entrenamientos previos, para que el sistema responda a los patrones de onda del usuario.

Descripción del sistema

En la Fig. 1, se observan las partes que componen a la interfaz, en la etapa de adquisición se utiliza la diadema EPOC para detectar la actividad cerebral. Posteriormente las señales son procesadas e interpretadas para que puedan ser utilizadas en la aplicación.

Para la adquisición y procesamiento de las señales, se trabajó con las librerías de desarrollo en Microsoft Visual Studio 2008, para desarrollar una *DLL* (*Dynamic-link library*), la cual se utiliza en la aplicación que se desarrolló en Unity, empleando la DLL, para manejar las señales provenientes de la diadema.

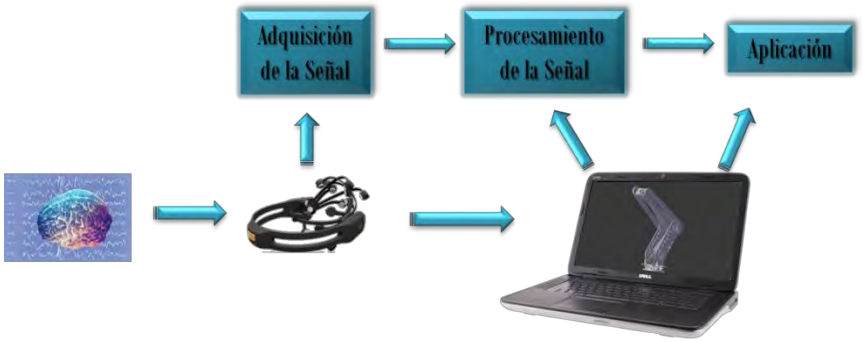


Fig. 1. Descripción de la interfaz cerebro-computadora.

Diseño del robot e incorporación al ambiente virtual

Un brazo manipulador o brazo robótico se define como el conjunto de elementos electromecánicos que propician el movimiento de un elemento terminal (gripper, herramienta o efector final) **[5]**. De forma general la mayoría de los manipuladores tienen una constitución física muy similar y en cierta forma muy parecida a la anatomía de los brazos del cuerpo humano, debido a esto en ocasiones para hacer referencia a los elementos que componen el robot se utilizan palabras como cintura, hombro, codo o muñeca.

El robot utilizado en este trabajo fue diseñado en su totalidad utilizando el software SolidWorks 2010, es del tipo manipulador y en esta aplicación se utiliza solo para posicionamiento; cuenta con tres grados de libertad, cada uno de tipo rotacional como se muestra en la Fig. 2.

Una vez que las partes que lo componen fueron diseñadas se procedió a ensamblarlas para utilizar el robot en el ambiente virtual; para ello se empleó el software de diseño y animación Blender 2.54, donde cada pieza que constituye el robot fue importada y ensamblada. Para lograr que el robot simulara el mismo comportamiento que uno real se crearon huesos, los cuales son elementos que se les asigna un grupo de vértices del mallado que forma al robot y éstos se mueven de la misma forma que lo hace el hueso al que están unidos. En la Fig. 2(a) podemos observar las vistas frontal, lateral e isométrica del robot empleado, al mismo tiempo que podemos ver los huesos creados para mover al robot, cabe mencionar que estos son necesarios solo para mover el robot y que no se observan cuando la aplicación se está ejecutando. Como mencionamos anteriormente el manipulador es de tres grados de libertad por lo tanto fue necesario crear tres huesos que emularan el comportamiento de los actuadores en un robot real, los huesos creados realizan la función de cintura, hombro y codo del manipulador.

El ambiente virtual en el que ejecutamos la aplicación fue creado utilizando el software Unity 3D, el cual es un motor de videojuegos y cuya programación se realiza utilizando lenguajes como java script o C# entre otros. En la Fig. 2 (b) vemos el robot funcionando en el ambiente virtual, como se puede observar se le han agregado texturas así como una mesa de trabajo solo para mejorar la estética de la aplicación y al mismo tiempo lograr que en la aplicación una mayor inmersión por parte del usuario.

Modelo Cinemático

El modelo cinemático estudia el movimiento del robot con respecto a un sistema de referencia fijo **[6]**. La cinemática directa consiste en determinar cuál es la posición y orientación del extremo del robot dados los valores de las articulaciones y parámetros geométricos de los elementos del robot, mientras que la cinemática inversa resuelve la configuración que debe adoptar el robot para llevarlo a una posición y orientación conocida **.**

Para la adquisición y procesamiento de las señales, se trabajó con las librerías de desarrollo en Microsoft Visual Studio 2008, para desarrollar una *DLL* (*Dynamic-link library*), la cual se utiliza en la aplicación que se desarrolló en Unity, empleando la DLL, para manejar las señales provenientes de la diadema.

Como se explicó anteriormente el usuario puede mover el robot utilizando una interfaz cerebro computadora, esto se logra haciendo que el usuario piense en mover arriba, abajo, izquierda, derecha, adelante o atrás la posición del efector final, esto es equivalente a los desplazamientos en ambos sentidos sobre los tres ejes cartesianos. Para poder simular el comportamiento del robot en este trabajo no se implementó leyes de control ya que es un modelo virtual, para hacerlo funcionar se utilizó la cinemática inversa para seguir la posición de una esfera que es la que el usuario mueve utilizando la interfaz cerebro computadora.

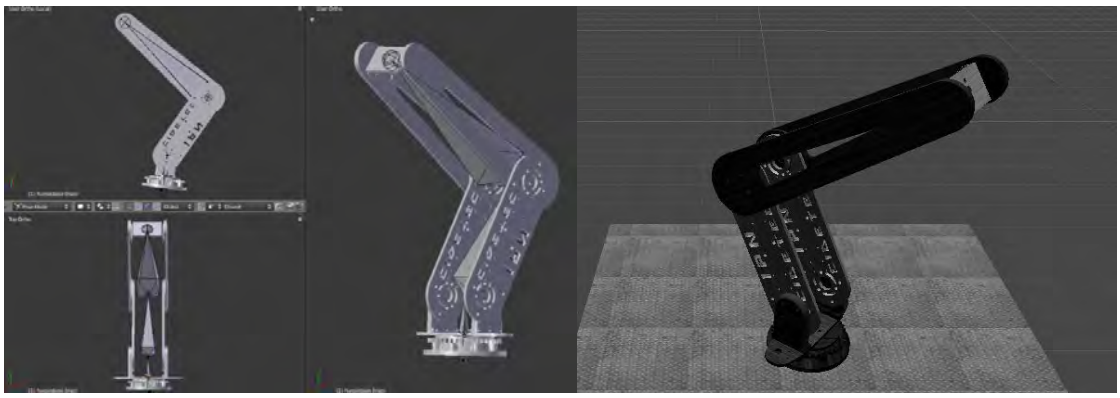


Fig. 2. (a) Vistas del diseño del robot en el software Blender 2.54. (b) Ambiente virtual en el software Unity 3D.

Cinemática Directa

Después de haber establecido el modelo del robot, así como sus características procedimos a calcular la cinemática directa. En la Fig. 3 podemos observar el sistema de referencia fijo con respecto al cual calculamos la cinemática directa e inversa del robot, la configuración de los ejes se debe a que Unity, el software con el cual se ejecuta la simulación posee esa configuración.

La cinemática directa, se calculó de forma geométrica, considerando el sistema de referencia, los ángulos (*q1*, *q2*, *q3*) así como los eslabones (*l1*, *l2*, *l3*), los cuales se pueden observar en la Fig. 3, y con base en los cuales, la posición del efector final, queda expresada con las siguientes ecuaciones

$$x = [l_2 \cos(q2) + l_3 \cos(q2 + q3)]cos(q1) \tag{1}$$

$$y = l_1 + l_2 sen(q2) + l_3 sen(q2 + q3) \tag{2}$$

$$z = [l_2 \cos(q2) + l_3 \cos(q2 + q3)]\text{sen}(q1) \tag{3}$$

Dónde: x es la posición respecto al eje x, y posición respecto al eje y, z posición respecto al eje z, l_1 longitud del primer eslabón, l_2 longitud del segundo eslabón, l_3 longitud del tercer eslabón, $q1$ ángulo respecto el eje x, $q2$ ángulo medido del plano xz, al segundo eslabón, $q3$ ángulo medido del segundo al eslabón al tercer eslabón, P_x es la proyección en el eje x, P_z es la proyección en el eje z.

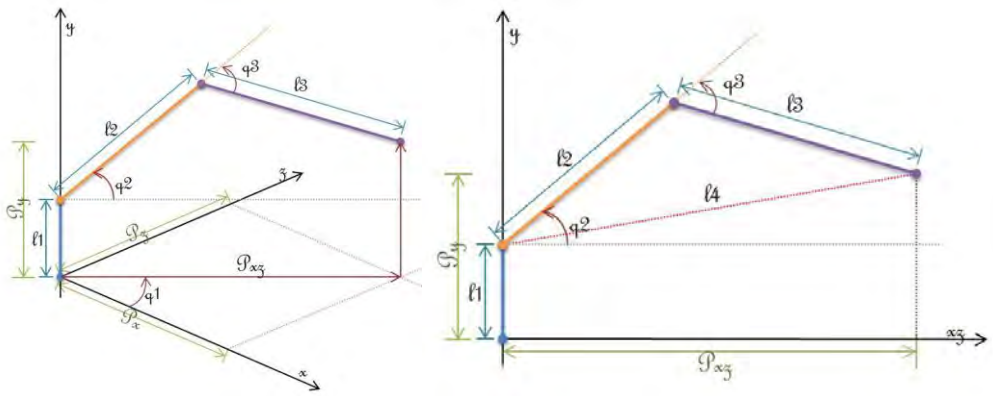


Fig. 3 Sistema de referencia del robot.

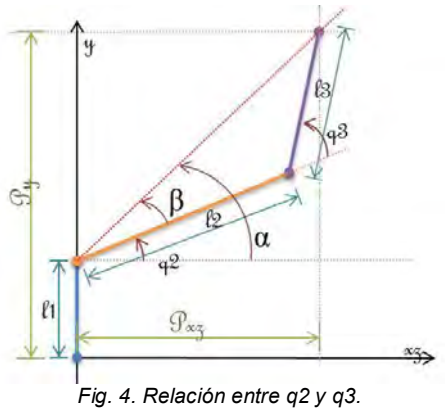


Fig. 4. Relación entre q2 y q3.

Cinemática Inversa

Como podemos observar *q1* se encuentra directamente relacionado con la posición en el eje z y x del efector final, P_z y P_x, de donde surge la siguiente ecuación:

$$\tan(q1) = \frac{P_z}{P_x} \qquad \therefore q1 = \tan^{-1}\left(\frac{P_z}{P_x}\right) \tag{4}$$

Lo siguiente a calcular es *q3*, Como podemos ver en la Fig. 3 podemos afirmar que:

$$P_{xz}{}^2 = P_x{}^2 + P_z{}^2 \tag{5}$$

$$l_4{}^2 = (P_y - l_1)^2 + P_{xz}{}^2 \tag{6}$$

donde: l_4 es la longitud del eje y hacia el efector final y P_{xz} es la proyección en el plano xz.

$$(P_y - l_1)^2 + P_{xz}{}^2 = l_2{}^2 + l_3{}^2 - 2l_2 l_3\, cos(q3) \tag{7}$$

$$cos(q3) = \frac{-P_x{}^2 - (P_y - l_1)^2 - P_z{}^2 + l_2{}^2 + l_3{}^2}{2l_2 l_3} \tag{8}$$

$$sin(q3) = \pm\sqrt{1 - cos^2(q3)} \tag{9}$$

$$q3 = tan^{-1}\left(\frac{\pm\sqrt{1 - cos^2(q3)}}{cos\,(q3)}\right) \tag{10}$$

$$\therefore q3 = tan^{-1}\left(\frac{\pm\sqrt{1 - cos^2(\frac{-P_x{}^2 - (P_y - l_1)^2 - P_z{}^2 + l_2{}^2 + l_3{}^2}{2l_2 l_3})}}{cos\,(\frac{-P_x{}^2 - (P_y - l_1)^2 - P_z{}^2 + l_2{}^2 + l_3{}^2}{2l_2 l_3})}\right) \tag{11}$$

En la Fig. 4 se puede obsevar que, *q2* es la diferencia entre los ángulos α y β.

$$q2 = \alpha - \beta \tag{12}$$

$$\alpha = tan^{-1}\left(\frac{Py - l_1}{P_{xz}}\right) = tan^{-1}\left(\frac{Py - l_1}{\pm\sqrt{P_x{}^2 + P_z{}^2}}\right) \tag{13}$$

$$\beta = tan^{-1}\left(\frac{l_3 sen(q3)}{l_2 + l_3 cos(q3)}\right) \tag{14}$$

$$q2 = tan^{-1}\left(\frac{Py - l_1}{\pm\sqrt{P_x{}^2 + P_z{}^2}}\right) - tan^{-1}\left(\frac{l_3 sen(q3)}{l_2 + l_3 cos(q3)}\right) \tag{15}$$

Adquisición y procesamiento de las señales

Para adquirir las señales de la diadema se utilizan las librerías de desarrollo que incluye el dispositivo EPOC (Fig. 5), dentro de estas librerías, se encuentran las funciones necesarias para establecer la conexión entre el dispositivo y la computadora, y las funciones con las que se realiza la adquisición de los datos de cada uno de los electrodos.

Antes de la etapa de procesamiento de las señales, se requiere que el usuario tenga una sesión de entrenamiento, durante este entrenamiento los patrones de ondas cerebrales son almacenados generando una base de datos para ser utilizadas en la etapa de procesamiento **[7]**, donde gracias a una comparación con la base de datos se conoce la intención del usuario. Durante la ejecución de la aplicación la comparación se emplea para realizar el desplazamiento correspondiente del robot virtual.

Desarrollo de la Aplicación

Como se mencionó anteriormente la aplicación fue desarrollada en Unity, utilizando este software se desarrolló la interfaz gráfica que sirve de retroalimentación visual para el usuario, en la Fig. 6 podemos observar el software Emotiv Control Panel, el cual muestra una animación relacionada con la acción que el usuario desea ejecutar.

Fig. 5. Dispositivo EPOC de la empresa Emotiv.

La barra color verde que se aprecia a la izquierda muestra la potencia de la señal que está recibiendo, esta depende del grado de concentración por parte del usuario, mientras más concentrado esté mayor será la potencia recibida y la acción se ejecutará más rápido, mediante las librerías de desarrollo es posible acceder al valor de esta variable pudiendo así cambiar la velocidad a la que se mueve el robot en la aplicación.

En la parte superior derecha podemos ver la calidad de la señal que reciben los electrodos, el hecho de que todos estén en color verde quiere decir que la señal recibida es buena. En la parte inferior derecha observamos las diferentes acciones que el usuario puede ejecutar, así como el porcentaje de entrenamiento que tiene para cada acción.

La interfaz funciona de la siguiente forma; el usuario se coloca la diadema EPOC, se realiza la conexión con el software Epoc Control Panel mostrado en la Fig. 6; esto solo si el usuario desea realizar una sesión de entrenamiento o bien observar el grado de concentración que tiene el ejecutar alguna acción, posteriormente se ejecuta la aplicación desarrollada, si la conexión fue correcta el usuario puede empezar a mover el robot simplemente pensando en la acción que desea ejecutar como lo hacía al entrenar con Epoc Control Panel.

Es necesario mencionar que la aplicación desarrollada no interpreta que es lo que el usuario piensa, como sabemos cada persona posee una actividad cerebral diferente, de forma tal que si una persona piensa en mover el brazo derecho, su actividad cerebral sería distinta al de otra pensando lo mismo, es por ello que el software se basa en el reconocimiento de patrones, es decir, al realizar las sesiones de entrenamiento se crea una base de datos con el patrón asociado a la acción que se desea ejecutar, este patrón depende de las señales recibidas en cada electrodo de la diadema, de esta forma cuando la aplicación se está ejecutando y detecta un patrón similar a otro entrenado se ejecuta la acción que este representa. Esta adquisición de datos permite mediante los archivos DLL controlar un ***robot real*** de la misma forma que en **[8]**.

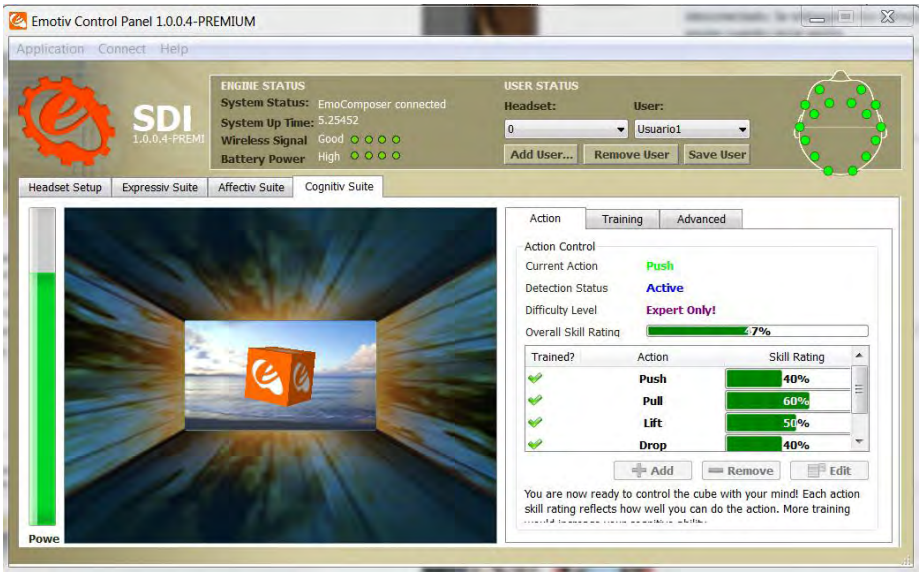


Fig. 6 Interfaz del software Emotiv Control Panel.

A continuación se presentan algunas imágenes que muestran el funcionamiento de la interfaz (Figs. 7-13), podemos ver en la parte inferior izquierda la animación detectada por el Epoc Control Panel y la acción provocada en el robot. Es importante mencionar que el objeto que el usuario mueve es una pequeña esfera y haciendo uso de la cinemática inversa podemos calcular los ángulos (q1, q2, q3) a los cuales el robot debe llegar para posicionar su efector final en el mismo lugar que la esfera.

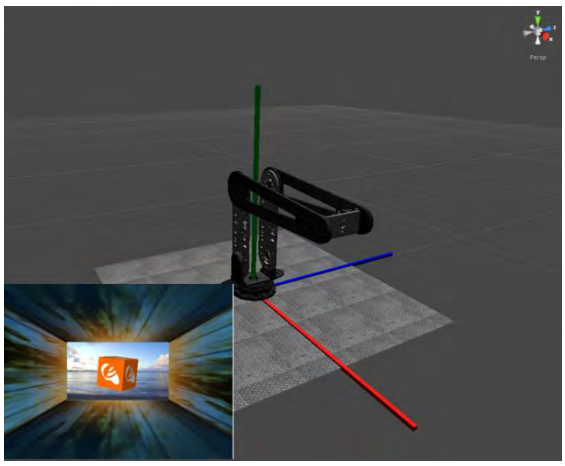


Fig. 7 Posición inicial.

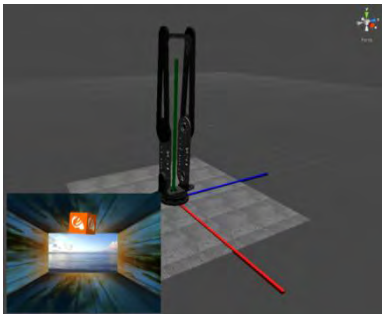


Fig. 8 Movimiento hacia arriba.

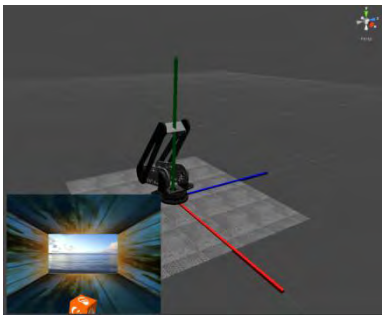


Fig. 9 Movimiento hacia abajo.

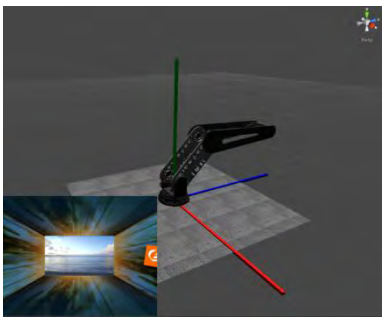


Fig. 10 Movimiento hacia la derecha.

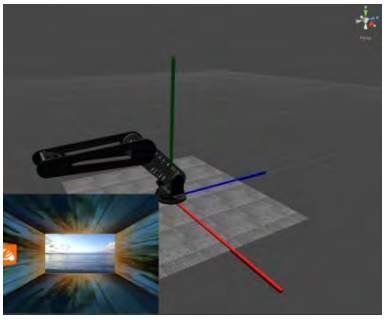


Fig. 11 Movimiento hacia la izquierda.

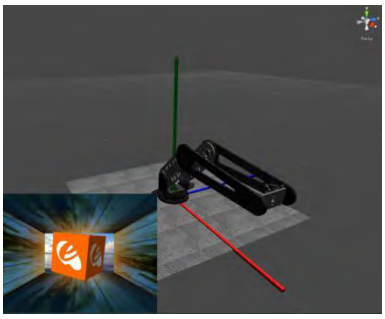


Fig. 12 Movimiento hacia adelante.

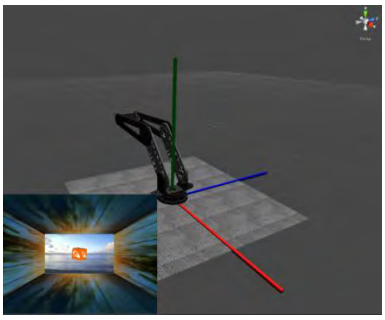


Fig. 13 Movimiento hacia atrás.

Conclusiones

La interfaz cerebro computadora que se desarrolló en el presente trabajo, presenta dos ventajas:

- ✓ Es no invasiva, es decir, para su funcionamiento, solo se requiere utilizar el dispositivo EPOC el cual es colocado sobre el cráneo del usuario.
- ✓ Es endógena, es decir, no se utiliza la técnica de potenciales evocados ni la onda P300, lo cual permite que el tiempo de respuesta de la interfaz sea menor, así el sistema es más rápido.

La interfaz desarrollada, logra posicionar el efector final del robot virtual. Para trabajar con la BCI, primero se requiere que el usuario realice un entrenamiento previo, utilizando el software *Emotiv Control Panel*, para que se almacenen los patrones de ondas que el software interpreta como una determinada accion, y que dichos patrones puedan posteriormente ser utilizados para el desplazamiento del robot, es importante mencionar que el tiempo de entrenamiento para cada persona es distinto, debido a que depende del grado de concentración de la misma, aunque desde la primera sesión de 60 minutos aproximadamente es posible controlar por lo menos dos acciones.

Al aumentar el número de acciones que el usuario puede ejecutar también aumenta la complejidad para controlarlos por lo cual también aumentan el número de sesiones de entrenamiento necesarias para lograr un buen desempeño en la aplicación.

El trabajo aquí desarrollado es considerado la base para llevar esta interfaz a interactuar con un robot manipulador real, es decir, que el usuario logre el posicionamiento de un robot real. Además las librerías de enlace dinámico (DLL) creadas para este trabajo ya están siendo utilizadas para mover robots reales **[9]**.

Referencias

[1] Martinez P., Bakardjian H., Cichocki A., "Fully-Online, Multi-Command Brain Computer Interface with Visual Neurofeedback Using SSVEP Paradigm", Laboratory for Advanced Brain Signal Processing, RIKEN Brain Science Institute.

[2] Mínguez, J. 2011 (28 de junio). http://webdiis.unizar.es/~jminguez/Sesion001_UJI.pdf

[3] Palaniappan, R., "Brain Computer Interface Design Using Band Powers Extracted During Mental Tasks", IEEE EMBS Conference on Neural Engineering, Arlington, Virginia, Marzo 16 - 19, 2005.

[4] López Gordo, M. A. 24 de febrero del 2009. "Interfaz BCI de altas prestaciones basada en la detección y procesamiento de la actividad cerebral". Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores, Granada, España.

[5] Martínez A. G. M., Jáquez O. S. A., Rivera M. J., Sandoval R. "Diseño propio y construcción de un brazo robótico de 5 GDL". *Revista de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación*. Vol. 4 (1). Julio 2008.

[6] Andueza L., Aguirre I. "Three degree of freesom robotic manipulator design for educational purpose". *Revista Ciencia e Ingeniería.* Vol. 30(1). Marzo 2009. pp. 3-14.

[7] Emotiv Software Development Kit User Manual for Release 1.0.0.4

[8] Sepúlveda Gabriel, Parra Vicente, Domínguez Omar, "Haptic Cues for Effective Learning in 3D Maze Navigation", HAVE'2008 - IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and Games, Ottawa. Canada, October 2008.

[9] Román Pérez Marco Antonio, Montaño Martínez Neyli-Han, Sepúlveda Cervantes Gabriel, "Influencia de la interacción humana vía Interfaz Cerebro Computadora (BCI) en el control de un robot", 10º Congreso Nacional de Mecatrónica, Puerto Vallarta, Jalisco, Noviembre 3 y 4, 2011

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 33. Volumen 4(4), 8 páginas

INSTRUMENTACIÓN DE UN DEDO ANTROPOMÓRFICO DE 1-GDL PARA SENSADO DE FUERZA

Raúl A. del Río Romero[1], Adolfo González Villa[2], Luis E. Santos Hernández[2], Edgar A. Portilla-Flores[1], Oscar F. Avilés Sánchez[3]

Resumen

En este trabajo se lleva a cabo la instrumentación de un dedo antropomórfico de un grado de libertad para el sensado de fuerza ejercida por él, que posteriormente se implementará en el diseño de un efector final (gripper). La fuerza generada por el dedo de 1-GDL es sensada como señal de voltaje, por un sensor de presión. Dicha señal es amplificada y recibida por medio de una tarjeta de adquisición de datos para poder ser analizada en la computadora. Finalmente un programa desarrollado en el software LabView realiza la conversión de la señal a unidades Gramos-Fuerza y la despliega de manera gráfica en instrumentos virtuales dentro del programa. La descripción del mecanismo, el proceso de montaje del sensor sobre el dedo de 1-GDL, su calibración y el análisis de los resultados experimentales se presentan a continuación.

Palabras clave: Dedo antropomórfico, instrumentación, mecanismo de barras paralelo, sensor.

Abstract

This paper carries out the implementation of an anthropomorphic finger of one degree of freedom for the sense exerted by him, which is then implemented in the design of a gripper. The force generated by the 1-DOF finger is sensed as a voltage signal, a pressure sensor. This signal is amplified and received through a data acquisition board to be analyzed on the computer. Finally, a program developed in LabView software performs signal conversion to gram-force units and displays them graphically on virtual instruments inside the program.The description of the mechanism, the process of mounting the sensor on the finger of 1-DOF, calibration and analysis of experimental results are presented below.

Keywords: Anthropomorphic Finger, Instrumentation, Parallel Bar Mechanism, Sensor.

Introducción

Dentro del área de robótica, en la construcción de brazos robóticos, los efectores finales (grippers) son los que le permiten al robot interactuar con su entorno, similar a como lo hace la mano humana. El estudio de efectores finales resulta muy importante para el mejoramiento de las habilidades de manipulación, dicho estudio se basa tanto en mejorar la funcionalidad mecánica del efector así como establecer una adecuada instrumentación electrónica que le permita reconocer objetos de su entorno así como las variables físicas que intervienen, con el fin de realizar dicha manipulación.

El efector final puede estar formado por dos o más dedos mecánicos que le permiten realizar la tarea de agarre. Por ello que el efector final también se conozca como “gripper”. Actualmente los diferentes diseños de efectores finales para mecanismos robóticos necesitan una correcta instrumentación para su aplicación en tareas específicas como la manipulación de materiales peligrosos o en tareas de alta precisión. La instrumentación electrónica se aplica en el sensado y procesamiento de la información proveniente de variables físicas y químicas, en este caso físicas, a partir de las cuales realiza el monitoreo y control de procesos, empleando dispositivos y tecnologías electrónicas.

[1] IPN-ESIME-Zacatenco. Ave. Instituto Politécnico Nacional 2508, Col San Pedro Zacatenco, 07360 México, D.F. Apartado postal 14-740, 07000 México, D.F. Teléfonos: 5747-7000 y 5747-3800. E-mail: rauldelrio182@gmail.com

[2] IPN-CIDETEC, "Unidad Profesional Adolfo López Mateos", Av. Juan de Dios Bátiz s/n casi esq. Miguel Othón de Mendizábal, Colonia Nueva Industrial Vallejo, Delegación Gustavo A. Madero C.P. 07700, México D.F. Tel.: 5729 6000, Ext. 52510. E-mail: aportilla@ipn.mx

[3] Universidad Militar Nueva Granada, Carrera 11 No. 101-80 Bogotá – Colombia / (57+1) 2757300 - (57+1) 6343200 / Fax: (57+1) 2147280.

El dedo antropomórfico empleado en este trabajo fue diseñado originalmente en la UMNG[3] [2], pero posteriormente optimizado en el CIDETEC-IPN[3]. Este cuenta con un mecanismo de barras paralelas, lo cual ofrece beneficios como robustez en su desplazamiento y un tamaño que puede definirse como el estándar de una mano humana promedio, sin comprometer su funcionalidad [1]. En este trabajo se presenta la instrumentación de un dedo antropomórfico de 1-GDL, con la finalidad de lograr el sensado la fuerza generada por dicho dedo. Se pretende que dicha instrumentación sea la base de una posible implementación de un efector final o *gripper*. El resto de este trabajo está organizado como se describe a continuación: en la sección II se describe el mecanismo del dedo antropomórfico. La sección III expone el sensor implementado y su etapa de amplificación. En la sección IV se muestra el sistema de adquisición de datos utilizado. La sección V explica la integración del sistema. Las secciones VI, VII y VIII presentan el desarrollo experimental así como la discusión de resultados.

Descripción del mecanismo

El dedo humano se divide en tres partes: falange proximal, falange media y falange distal. Estas partes se pueden observar en la Fig. 1 que describe al mismo tiempo la estructura física del dedo antropomórfico utilizado. Como se explica en [1], el dedo antropomórfico está conformado por dos mecanismos cruzados de cuatro barras acopladas entre ellos. Además, como entrada de movimiento, la base del dedo está conectada a un tornillo sin fin, o tornillo de potencia, que permite la conversión del movimiento angular del motor-reductor de CD a movimiento lineal; lo anterior por medio de una corredera montada en el tornillo sin fin. El motor-reductor tiene una relación de 67 vueltas del motor por 1 vuelta de salida de la caja de engranes.

Fig. 1. Mecanismo del dedo antropomórfico de 1-GDL.

Sensor de fuerza

El sensor utilizado en este trabajo funciona con el principio de *piezoresistividad*. El efecto piezo resistivo describe el cambio de la resistividad de un semiconductor debido a la tensión mecánica aplicada. Partiendo de lo anterior, se buscó en el mercado tipos de sensores resistivos que se adecuaran a nuestra aplicación. Se seleccionó el sensor *FlexiForce*™ de *Tekscan* ya que sus características son adecuadas para el sistema a desarrollar. En [4] se trabajó con este sensor para la obtención de datos en personas que han sufrido la pérdida de un miembro del cuerpo.

El sensor se instaló sobre la falange distal del dedo de 1-GDL [1], lo anterior para la aplicación de dicho dedo en tareas de presión. Además de esto, la superficie de contacto que presenta el sensor de presión cubre satisfactoriamente el área de contacto del dedo antropomórfico, permitiendo tener lecturas adecuadas. El circuito electrónico utilizado con el sensor de presión se muestra en la Fig. 2.

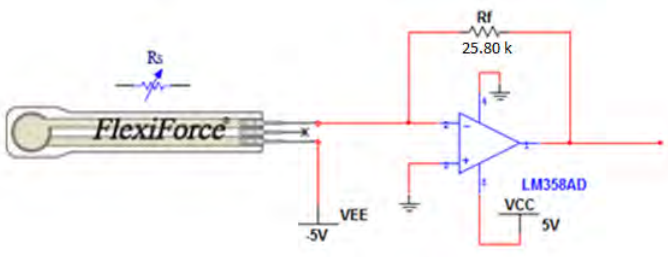


Fig. 2. Configuración del LM358 como amplificador operacional.

En dicho circuito se utiliza un amplificador operacional LM358 y resistencias de precisión. El LM358 es un amplificador operacional dual de baja potencia, cuyas principales características son: está diseñado para trabajar con una sola fuente de alimentación, y está compensado internamente en frecuencia, lo cual permite obtener una señal de salida estable y reducir el número de elementos que en un amplificador operacional de propósito general se requerirían para obtener el mismo comportamiento.

Para realizar la calibración del sensor de presión, se llevó a cabo un montaje como lo muestra la Fig. 3d. Es importante señalar que para una medición precisa, se debe distribuir uniformemente la carga sobre el área de sensado. Esto se muestra en la Fig. 3c, donde se observa que una base de acrílico cubre uniformemente el punto de contacto con el sensor el cual se encuentra en relieve con la superficie de madera.

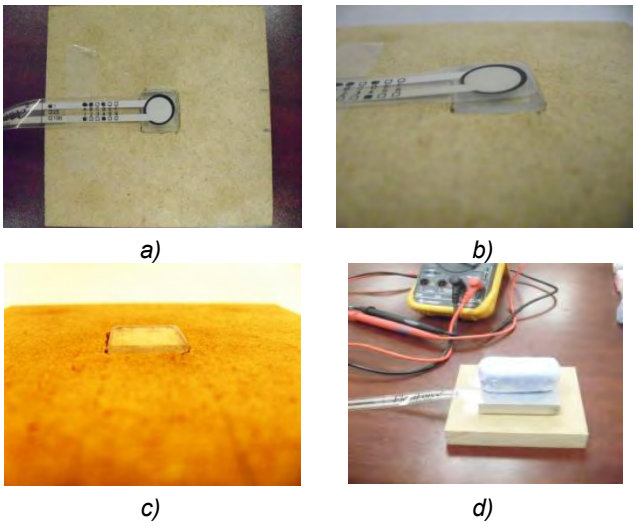


Fig. 3. Configuración del LM358 como amplificador operacional.

Sistema de adquisición de datos

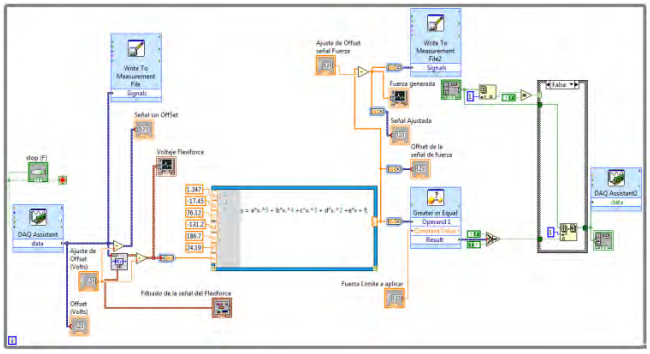
Para la etapa de adquisición de datos se utilizó la DAQ USB-6009. Del fabricante National Instruments, tiene por característica ser de bajo costo y alto rendimiento y permite adquirir datos de manera sencilla y eficaz para aplicaciones de prototipos de laboratorio. Cuenta con una entrada analógica de 8 canales y una salida de 2 canales, su velocidad de muestreo es de 46 kb/s; el rango máximo de voltaje es de -10 V a 10 V. El Máximo Voltaje de salida Analógica es 5 Volts. El Rango de voltaje Máximo es 0 V a 5 V en las entradas y salidas digitales [3].

Esta tarjeta se utilizó en conjunto con el programa *LabView Profesional Development System*, versión 9.0f3 (32-bits). Este programa permite generar una interfaz gráfica que, para efectos de este trabajo, sirve para el despliegue de los datos obtenidos de la señal proveniente de la etapa de sensado del dedo antropomórfico.

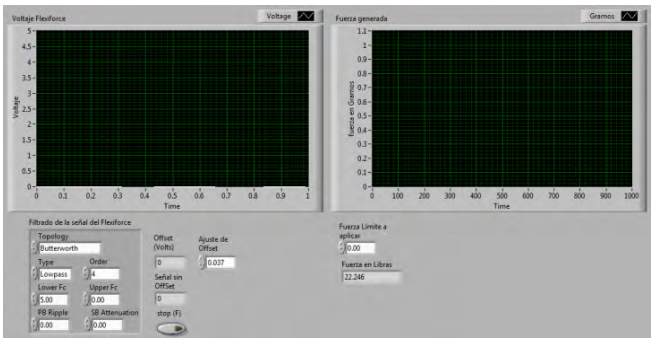
Integración del sistema

El objetivo del código desarrollado en el entorno de programación gráfica de LabView, fue establecer una interfaz de adquisición para los datos obtenidos de la señal analógica desde la etapa de sensado, y posteriormente realizar un análisis matemático sobre estos y desplegar dicha información en los instrumentos virtuales, de esta manera se logra graficar el comportamiento de la fuerza aplicada al sensor. En la Fig. 4a se muestra el código 'G' o diagrama de bloques del sistema desarrollado para esta aplicación. Así mismo, la Fig. 4b muestra su correspondiente panel Frontal.

Como se observa en la Fig. 4a, la señal es adquirida a través del instrumento virtual "DAQ Assistant". Una vez adquirida la señal, se introduce a un filtro pasa bajas tipo *Butterworth*, de orden 4 y con frecuencia de corte igual a 5 Hz, para suprimir la interferencia de la fuente de alimentación. Dentro del ajuste de tiempo para la adquisición de datos, se seleccionó "continuous samples" (muestras continuas) para el instrumento virtual "*DAQ Assistant*"; ya que es de interés trabajar con la señal analógica en un rango de lectura de 1000 muestras y un rate de 1k.



a)



b)

Fig.4. a) Diagrama de bloques y b) panel frontal del programa desarrollado en LabView

Para el análisis matemático se usó el "Nodo de Fórmula", que permite realizar operaciones matemáticas a través de lenguaje de programación. Es en este bloque donde se implementa (2). De esta manera, los valores de voltaje entrantes al "Nodo de Fórmula" son incluidos a la ecuación y como resultado se obtiene el valor en gramos-fuerza generado por el dedo antropomórfico y el sensor.

Los datos obtenidos son guardados en un archivo de texto por medio del bloque "*Write to Measurement file*". Dichos datos se utilizaron para realizar el análisis de fuerza del dedo antropomórfico con el software *MatLab*.

Desarrollo experimental y resultados

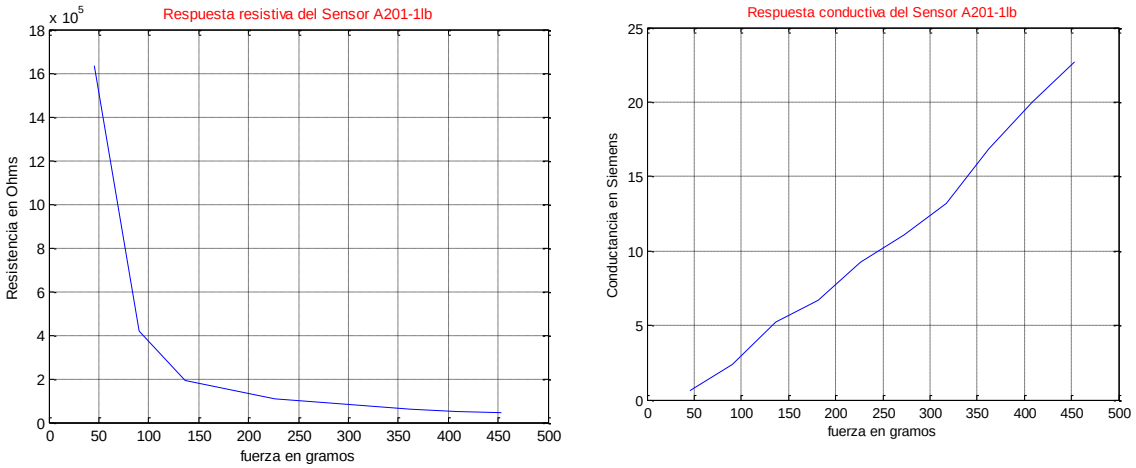
Para realizar la calibración del sistema se hizo un montaje como se observa en la Fig. 3d. El circuito de la Fig. 2 presentó un *offset* en la señal de voltaje de salida de aproximadamente 0.037 Volts. Este se ajustó con un instrumento virtual de control numérico que se observa en la Fig. 4b.

Para continuar con el procedimiento de calibración se colocó una serie de pesos conocidos sobre el sensor con el fin de registrar los valores de la resistencia que correspondían en cada incremento. Ya que el rango del sensor es de 0 a 453.59 gr (0 a 1 lb), se dividió la escala en 10 puntos, cada uno de 45.35 gr (0.1 lb), Se sabe que la respuesta del sensor no es lineal, por lo que se realizaron 10 muestras en total para cada punto de la escala a medir, y posteriormente se obtuvo un promedio para cada punto. Como se observa en la Tabla 1, a partir de la muestra número 5 los valores comienzan a ser aproximados, por lo que fue a partir de esta muestra que se realizó el promedio. Lo anterior se debe a que el sensor requiere ser acondicionado para el rango de peso con el cual va a trabajar. Las primeras 5 muestras son para este acondicionamiento. La Fig. 5 representa la gráfica de los 10 puntos obtenidos, generando como resultado el comportamiento de la resistencia y conductancia del sensor.

En la siguiente etapa se realizó la medición del voltaje generado por la aplicación de fuerza. Se generaron dos versiones de muestras para voltaje: una con la aplicación de fuerza con los pesos conocidos utilizados en la calibración, y otra aplicando la fuerza directamente desde el punto de contacto de la falange distal del dedo antropomórfico de 1-GDL sobre una báscula con límite de 1000 g, lo que nos permitió conocer el peso generando por el dedo (ver Fig. 6). Es de suma importancia ubicar la superficie del sensor de fuerza lo más exacto posible bajo el punto de contacto, ya que se comprobó la poca precisión en la respuesta del sensor si no se distribuye la fuerza aplicada uniformemente. La Tabla 2 nos muestra los resultados de los dos experimentos de las muestras obtenidas.

Tabla 1. Valores de resistencia del sensor para diferentes pesos en gramos.

g (lb)	Número de muestra (valores en Ω)										Promedio (a partir 5)	Conductancia del promedio (Siemens)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
45.35 (0.1)	1.20M	2M	1.55M	1.7M	2M	1.3M	1.7M	1.5M	1.5M	1.8M	1.633M	0.6123µ
90.70 (0.2)	1.10M	1.2M	327K	430K	350K	370K	470K	420K	450K	450K	418, 333	2.3904µ
136.05(0.3)	1.040M	372K	232K	263K	197K	183K	193K	182K	200K	190k	190, 833	5.2401µ
181.40(0.4)	255K	226K	170K	200K	153K	153K	130K	130K	190K	145k	150, 166	6.6592µ
226.75(0.5)	232K	166K	147K	140K	107K	110K	115K	100K	112K	107k	108, 500	9.2165µ
272.10(0.6)	161K	125K	100K	100K	89K	94K	96K	90K	86K	88k	90, 500	11.0497µ
317.45(0.7)	158K	92K	74K	73K	73K	68K	81K	83K	78K	72k	75, 833	13.1868µ
362.80(0.8)	130K	85K	68K	62K	62K	59K	54K	59K	63K	59k	59, 333	16.8540µ
408.15(0.9)	113K	76K	64K	63K	54K	49K	48K	48K	51K	50k	50, 000	20.0000µ
453.59(1)	90K	63K	52K	54K	43K	44K	44K	43K	44K	46k	44, 000	22.7272µ



a) *b)*

Fig. 5. Respuesta de la resistencia y conductancia del sensor.

Como se observa en la Fig. 7, se representa la interpolación de los resultados anteriores, el comportamiento aproximado para los dos casos, lo cual muestra que el montaje del sensor en el dedo se desempeña correctamente. Otro punto a observar es que la respuesta para los dos casos no es lineal, por lo que no se puede establecer una razón simple que las defina.

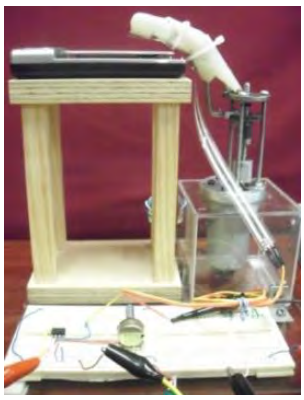
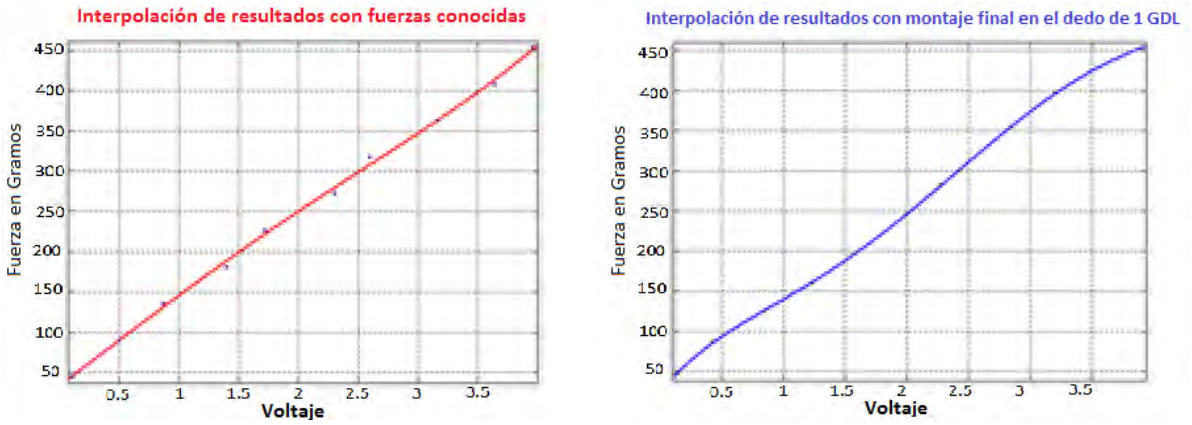


Fig. 6. Montaje del sensor en dedo de 1-GDL.

Tabla 2. Resultados de las muestras de Voltaje

Versión de muestra		Resultados de las muestras									
Con pesos conocidos	Fuerza en g (lb)	45.35 (0.1)	90.70 (0.2)	136.05 (0.3)	181.40 (0.4)	226.75 (0.5)	272.10 (0.6)	317.45 (0.7)	362.80 (0.8)	408.15 (0.9)	453.59 (1)
	Voltaje obtenido (V)	0.107	0.500	0.870	1.400	1.720	2.300	2.600	3.160	3.640	3.960
Con montaje en el dedo de 1-GDL	Fuerza en g (lb)	47.89 (0.1056)	86.86 (0.1915)	124.28 (0.2740)	159.98 (0.3527)	195.99 (0.4321)	282.27 (0.6223)	300.09 (0.6616)	354.25 (0.7810)	397.39 (0.8761)	452.95 (0.9986)
	Voltaje obtenido (V)	0.145	0.422	0.844	1.231	1.563	2.268	2.431	2.855	3.203	3.912



a) *b)*

Fig.7. Señales de Voltaje a) aplicando fuerzas conocidas y b) aplicando fuerza con el Dedo de 1-GDL

Finalmente, las ecuaciones (1) y (2) representan las aproximaciones por medio de interpolación de las curvas anteriores, respectivamente. Para basarnos en el comportamiento real del sistema, se hizo uso de (2) en el análisis matemático de la señal dentro de la integración del sistema. De esta manera, el desempeño final de la instrumentación estará basado directamente en el comportamiento real del dedo de 1-GDL.

$$f(x) = p1x^4 + p2x^3 + p3x^2 + p4x + p5 \quad (1)$$

$$f(x) = p6x^5 + p7x^4 + p8x^3 + p9x^2 + p10x + p11 \quad (2)$$

donde:

p1	0.8472	p5	34.41	p9	-131.2
p2	-5.114	p6	1.347	p10	186.7
p3	5.697	p7	-17.45	p11	24.19
p4	110.2	p8	76.12		

La configuración anterior presenta un offset de aproximadamente 0.004 V, que se ajusta en la integración del sistema. La resistencia del sensor cuando no tiene carga excede los 5M Ω, y la sensibilidad del sensor se ajusta con la resistencia Rf. Esta sensibilidad se refiere a qué tan rápido se alcanzará el punto de saturación del sensor que se tendrá para una carga de peso cada vez mayor. Entre menor sea la Rf menor sensibilidad habrá y mayor será el rango de fuerza que se puede aplicar antes de llegar a la saturación; de manera contraria, a mayor valor de Rf, mayor la sensibilidad y más rápido se saturará para valores de fuerza menores. En este caso, dado que el sensor presenta un rango de 0 a 453.59 gr (0 a 1 lb), se define el valor de Rf en 25.80k para el calibrado, ya que proporciona una mejor resolución en todo el rango de fuerza.

Dentro de la integración del sistema, se probaron las dos etapas en conjunto: etapa de sensado y etapa de software. Se activó el dedo de modo que generara la fuerza sobre la báscula y se compara el peso obtenido por la báscula (ver Fig. 8) con el desplegado por los instrumentos virtuales del programa. El circuito se calibró para que el voltaje correspondiente a 453.59 gr (1 libra) de fuerza sea aproximadamente igual a 3.58V, tal como se observa en la Fig. 9a. Esto logró dar mayor resolución antes de que se saturara el sensor para valores de fuerza mucho menores a la máxima a aplicar. La Fig. 9b representa la relación obtenida de Fuerza vs Voltaje, generada en el experimento.

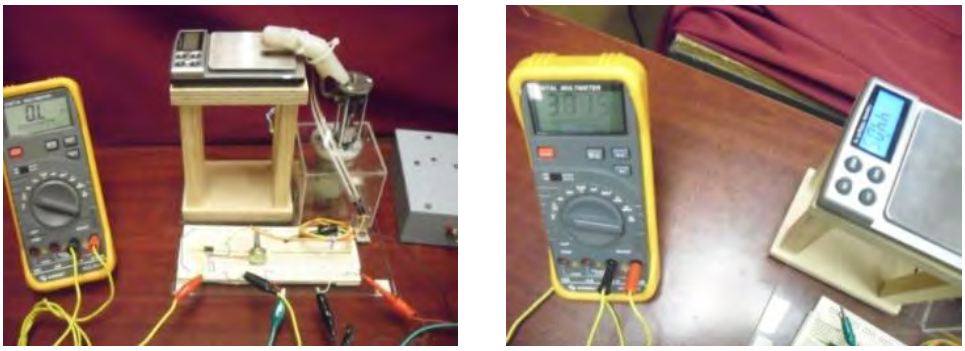
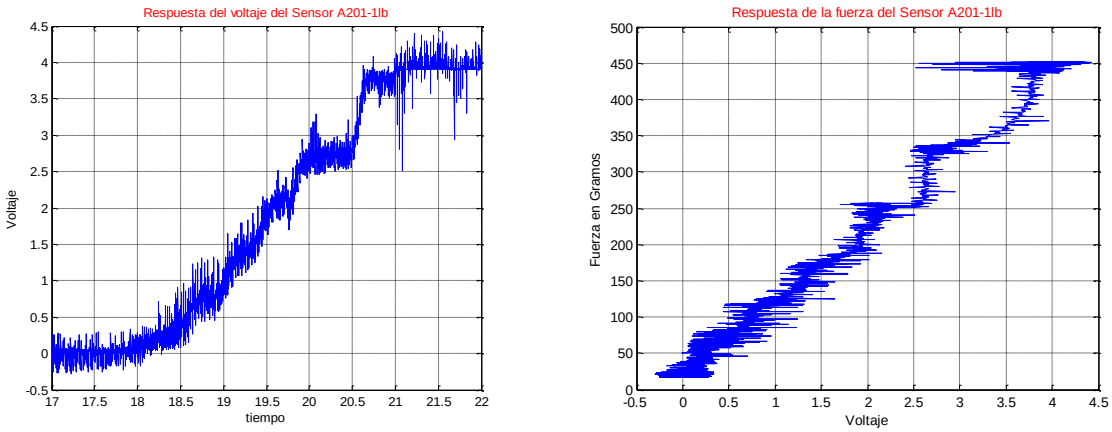


Fig. 8. Montaje para experimentación



a) *b)*

Fig. 9. Resultados experimentales

Discusión de resultados

Como se muestra en la Fig. 9b, desde los primeros valores de voltaje ya se presenta un valor de fuerza, esto se debe al valor de *Offset* de voltaje agregado por la tarjeta DAQ, del orden de 37mV; y que este se ajustó en función de la señal de voltaje proveniente del sensor. Otro punto importante respecto a lo anterior, es que la interpolación fue realizada en base a resultados durante la calibración, con montaje en el dedo y sin conectarse a la DAQ; por lo tanto, no manejaban el valor de Offset y si se corregía dicho valor en la experimentación, el comportamiento era distinto dado que la ecuación implementada no partió de los valores con Offset. Por ello, cualquier ajuste de Offset debe realizarse en función de la respuesta de la Fuerza, ajustando el cero de esta, y posteriormente recalibrar si es necesario.

Conclusiones

Para la finalidad de este trabajo, se obtuvieron los resultados esperados y por ende una instrumentación correcta para el sensado de fuerza. Los resultados muestran que efectivamente el comportamiento del sensor montado en el dedo de 1-GDL responde adecuadamente gracias a (2), obtenida por la interpolación de los datos de la calibración. Cabe resaltar que dichos resultados mostrados en la Fig. 9 presentan cierta distorsión

y parecieran que la respuesta no es la adecuada, pero esto se considera ya que en este trabajo sólo se desarrolló la instrumentación del sensor y no se implementó una etapa de control del motor que generara un movimiento gradual y estable, sino que el motor fue excitado manualmente desde su alimentación.

Por otro lado, se comprobó que el desempeño del sensor de fuerza depende mucho de la calidad de su montaje en el sistema a trabajar, esto es relativo al proceso de calibración y la instrumentación final, por ejemplo uno puede ajustar el valor de cero de la Fuerza para diferentes voltajes generados por el sensor, cuidando que no se sature este para valores de fuerza inferiores a la fuerza máxima a aplicar.

Referencias

[1] Roberto Piña Quintero. Diseño paramétrico y construcción de un dedo antropomórfico. Tesis de Maestría, Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo. 2010

[2] O. F. Avilés Sánchez y P. León Simanca. Diseño y construcción de un dedo para grippers robóticos. Tesis de Maestría, Universidad Tecnológica de Pereira, 2004.

[3] C. Lebosse, B. Bayle, M. de Mathelin. Nonlinear Modeling of Low Cost Force Sensors, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation Pasadena, CA, USA. May 19-23, 2008

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 34. Volumen 4(4), 6 páginas.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT BÍPEDO HUMANOIDE CON 14 GDL

Mayra Hernández Torres[1], Eduardo Morales Sánchez[1], Alejandro García Miranda[2]

Resumen

Este proyecto trata sobre la construcción de una estructura mecánica tipo robot bípedo humanoide con 14 grados de libertad. El nombre del robot es RBH1-IPN. La propuesta de diseño de la estructura mecánica está basada en el movimiento de caminata. Los elementos de la estructura mecánica son piezas metálicas planas tipo U y L junto con actuadores rotoides de servomotor RC. El material para la construcción fue de aluminio y se realizaron pruebas para demostrar la funcionalidad mecánica de las 14 articulaciones.
Palabras Clave: robot bípedo, caminata.

Abstract

This work is about a mechanical structure humanoid type biped robot with 14 degrees of freedom DOF. The robot's name is RBH1-IPN. The design of the mechanical structure is based on the movement of walking. The mechanical elements of the structure are flat metal pieces U and L types with servomotors RC as actuators. Material's structure was aluminum and tests were performed to demonstrate the mechanical functionality of the 14 joints.

Introducción

El desarrollo de robots humanoides ha tenido un crecimiento impresionante tanto en el siglo pasado como en el presente. Los robots bípedos humanoides son capaces de realizar movimientos semejantes al ser humano. El sistema muscular-esquelético del ser humano resulta difícil de reemplazar por componentes mecánicos, convirtiéndose en el primer obstáculo cuando se quiere hacer el desarrollo mecánico de un robot bípedo humanoide. A pesar de esa dificultad, en la literatura se tiene una serie de ejemplos sobre robots humanoides. Como por ejemplo:

a) La universidad de Waseda en Tokio Japón, desarrolla el robot WABOT-1 considerado el primer robot bípedo con forma humanoide y autónomo construido en el mundo (1995),
b) Honda en 2000 da a conocer al mundo el primer prototipo. La versión más reciente mide 130 cm, pesa 54 kg y está provisto de 34 GDL,
c) Sony en 1997 lanza el desarrollo del modelo QRIO, el cual posee un sistema de caminata dinámicamente estable y es capaz de adaptarse a terrenos irregulares, detecta obstáculos esquivándolos, tiene reconocimiento de rostro, sonido, palabras, diálogo e interacción con personas,
d) Uno de los robots humanoides más conocidos es el desarrollado en Corea del Sur por el Instituto Superior Coreano de Ciencia y Tecnología, llamado HUBO y presentado en el año 2003, tiene la capacidad de caminar a una velocidad de 30 cm/seg, una capacidad de hablar usando un sistema de reconocimiento de palabras, un sistema de visión y está provisto está provisto de 41 GDL.
e) Fujitsu en 2003 da conocer el HOAP-1 por sus siglas (Humanoid Open Architecture Platform), el cual tiene la capacidad de aprendizaje provisto de una red neuronal para el control de locomoción evitando la modelación cinemática.
f) Toyota desarrolló una serie de robots (2005), uno de ellos puede caminar en dos piernas, tiene un peso de 75 Kg. y una altura de 180 cm.

La Fig. 1 muestra los robots antes mencionados en el orden respectivo de izquierda a derecha.

[1] CICATA-IPN, Querétaro, Qro.
[2] Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán. Teléfono (442) 2-29-08 Ext 81009. E-mail: emoraless@ipn.mx

Fig. 1 Robots humanoides más representativos.

En el presente trabajo se diseñó y construyó un robot humanoide de 14 GDL basado en servomotores RC y articulaciones planas tipo"U"y "L".El robot diseñado y construido tiene por nombre RBH1-IPN. El robot se diseñó y se construyó en el CICATA –IPN Unidad Querétaro.

Metodología

Un robot humanoide está compuesto por varios elementos mecánicos, eléctricos y de control que lo convierten en un sistema mecatrónico, cada elemento en particular requiere un estudio a detalle. En este trabajo se reporta el diseño mecánico, la construcción y la instrumentación necesaria para un robot humanoide de 14 GDL. La metodología de diseño propuesta se muestra en la Fig. 2. Esta metodología permite proponer un diseño en base a las especificaciones, realizar la simulación, posteriormente realizar la construcción y si es necesario hacer un rediseño nuevamente.

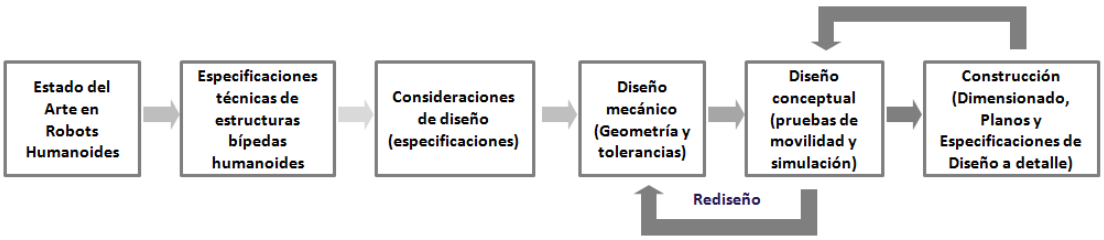


Fig. 2 Metodología de Diseño

Siguiendo la metodología de diseño propuesta, a continuación se enlistan las especificaciones a cumplir:

- Estructura que facilite la caminata bípeda
- Poseer 14 GDL: 12GDL para extremidades, 1 para el tronco y 1 para la cabeza.
- Articulación tipo rotoides con actuadores RC
- Eslabones por piezas metalicas tipo "U" y Tipo "L".

Locomoción humana y caminata bípeda

El andar humano puede verse desde varias perspectivas, mecánico, geométrico, energético y anatómico. En este trabajo nos interesa que el diseño de la estructura ayude a mantener el equilibrio y que se realice la caminata. La caminata se considera un proceso cíclico y de acuerdo a la literatura se analiza en una serie de fases: fase de soporte doble (double support phase) y fase de soporte único (single support phase). Estas fases se determinan haciendo referencia a como el cuerpo es soportado por cada pierna.

La fase de soporte simple comienza cuando la pierna que no es considerada soporte deja el suelo y los dedos del pie son el último contacto con el suelo y el ciclo termina cuando esta misma pierna vuelve a tocar el suelo por medio del talón

La fase de soporte doble empieza cuando el talón de una pierna toca por primera vez el suelo y termina cuando los dedos del pie de la otra pierna se despegan del suelo. Esta fase es relativamente corta pero indispensable para que el soporte cambie de una pierna a otra.

De acuerdo a lo anterior, la propuesta de caminata para el robot humanoide a diseñar es que en la fase de soporte simple, un GDL permita balancear la estructura completa en una pierna para que la pierna libre se flexione a un lado para dar un paso, posteriormente la pierna balanceada regresa a su punto de origen y al mismo tiempo se flexiona de regreso, para completar el medio paso. Este proceso se repite para lograr la caminata. Por lo anterior la propuesta de estructura para las piernas será de 3 GDL. 1 GDL correspondiente a

una flexión del pie, 1 GDL correspondiente a una rodilla y 1 GDL para unión pierna cadera. La Fig. 3 muestra las etapas de caminata para el diseño propuesto para las piernas de 3 GDL del robot humanoide.

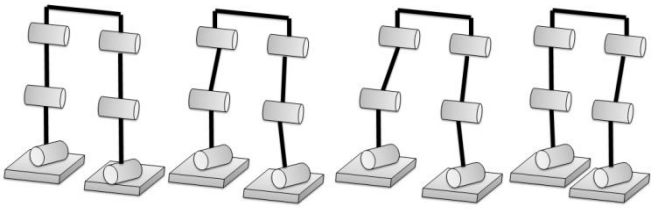


Fig. 3. Secuencia de caminata

Estructura del robot bípedo humanoide de 14 GDL

Una vez determinada el número de GDL de las piernas, la estructura de las piernas y como se realizará la caminata, se procede a proponer la estructura completa del robot humanoide; por especificaciones de diseño el robot humanoide deberá contener 14 GDL. La estructura completa se muestra en la Fig. 4.

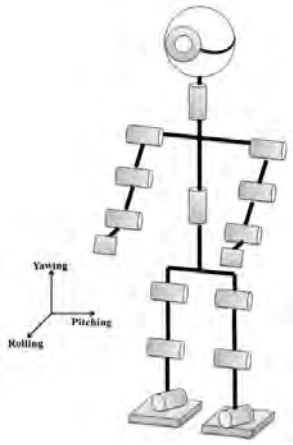


Fig. 4. Propuesta de Estructura del robot humanoide RBH1-IPN.

Los grados de libertad para la estructura propuesta se muestran en la Tabla 1.

Articulaciones y eslabones

De acuerdo a las especificaciones de diseño, las articulaciones activas serán implementadas por medio de servomotores RC (servomotor HS-311 de HITEC (Fig. 5). Y los eslabones serán construidos a través de piezas metalicas planas tipo "U" y "L" como se muestra en las Figs. 6 y 7. La Fig. 7 muestra las piezas metálicas propuestas para el soporte del servomotor y las piezas correspondientes al torso del robot humanoide.

Tabla 1. Distribución de los 14 GDL del Robot bípedo humanoide RBH1-IPN

Articulación		GDL
Pierna	Cadera	1
	Muslo	1x2
	Rodilla	1x2
	Tobillo	1x2
Brazo	Hombro	1x2
	Codo	1x2
	Muñeca	1x2
Cabeza	Cuello	1

Fig. 5. Servomotor HS-311

Fig. 6. Estructuras metálicas planas tipo "U" y "L" utilizadas para construir los eslabones de las articulaciones rotoides.

Fig. 7 Estructuras metálicas utilizadas para soporte del servomotor y para el torso del robot.

Diseño conceptual 3D

A continuación se procedió a realizar el diseño conceptual del robot humanoide de 14 GDL. Las Figs. 8a y 8b muestran el isométrico de las piernas y de los brazos respectivamente. Se puede observar los 3 GDL para cada brazo y cada pierna, así como también el GDL para que gire el torso y el GDL para la rotación de la cabeza. Cabe mencionar que en la parte interior del torso se tiene las dimensiones adecuadas para introducir la tarjeta de control de las articulaciones y las baterías requeridas. Al robot diseñado se le dio el nombre de RBH1-IPN. La Fig. 9 muestra el isométrico de la estructura completa del robot RBH1-IPN.

Construcción del robot bípedo humanoide de 14 GDL RBH1-IPN

Se realizó la construcción del robot humanoide de 14 GDL propuesto. El material de construcción fue lámina de acero inoxidable calibre 16. El tamaño fue de 28 cm, el peso es de 7.3 kg. La Fig. 10 muestra el robot construido.

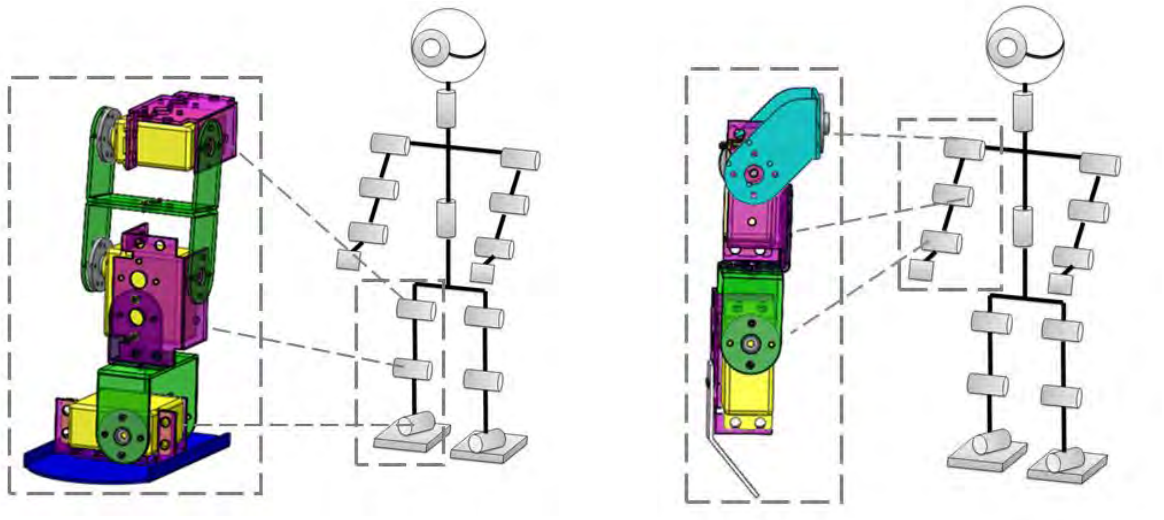


Fig. 8 a) Isométrico de brazo b) isométrico de pierna.

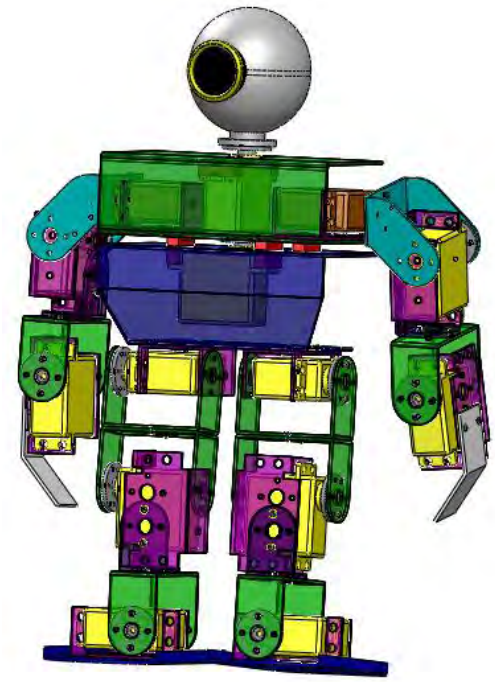


Fig. 9. Diseño en CAD del isométrico del RBH1-IPN.

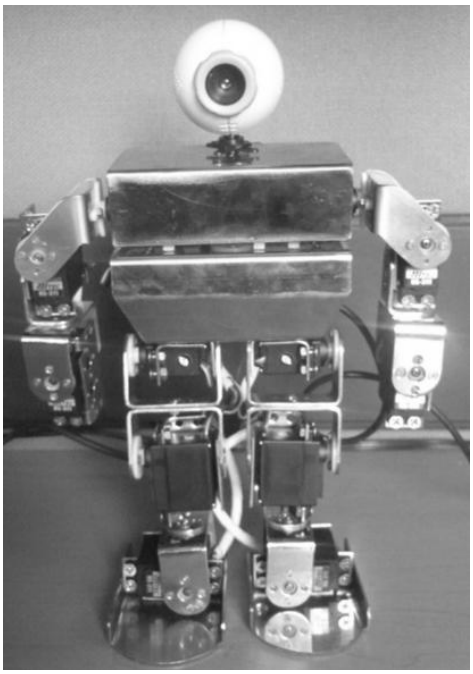


Fig. 10. Robot RBH1-IPN construido.

Movimiento de los 14 GDL

La prueba de movimiento consiste en accionar la o las articulaciones y verificar que cada GDL realice su movimiento sin que choque o se detenga por piezas del mismo robot. La prueba tambien debe comprobar que la rotación de cada servomotor sea minimo de 60º y que el espacio de trabajo de la articulación corresponda a "movimientos humanos". Para realizar la prueba se utilizó la tarjeta USB-16 Servo Controller la cual tiene una interface Visual SC2 permitiendo realizar secuencia de movimientos de los servomotores. En la Fig. 11 se muestra una secuencia para una caminata bípeda realizada RBH1-IPN construido.

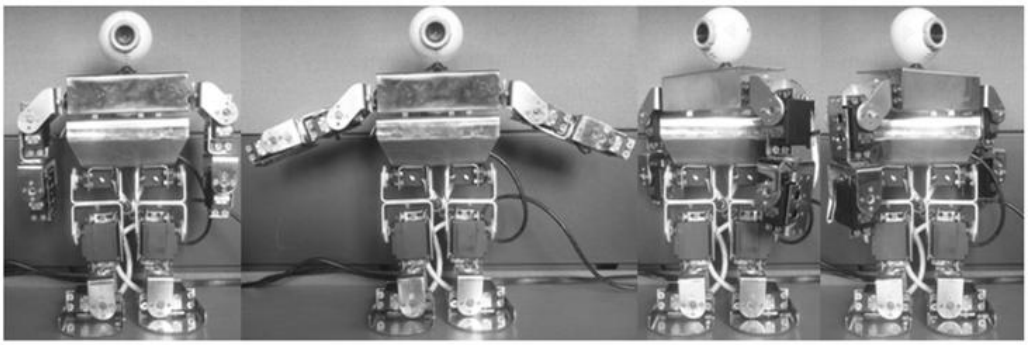


Fig. 11. Secuencia de Movimiento del robot humanoide.

Conclusiones

Se realizó el diseño y la construcción de una estructura bípeda humanoide con las siguientes características:

- Estructura mecánica funcional para caminar 14 GDL
- Articulaciones activas toroides basadas en servomotores RC
- Eslabones basados en piezas metálicas planas tipo "U" y "L"
- Instrumentación para realizar el movimiento de los 14 GDL.

Referencias

[1] Lung-Wen Tsai "Robot Analysis":The Mechanics of Serial and Parallel Manipulator Department of Mechanical Engineering and Institute for System research University of Maryland.

[2] Thomas R. Kurfess "Robotics ans Automation handbook" CRC Press

[3] Luis Maria Cabas Ormaechea "Mecatronica Bioinspirada en robots humanoides de tamaño natural" Departamento de Sistemas y Automatica de la Universidad Carlos III de Madrid, Madrid España Junio 2009.

[4] Victor Enrique Gonzalez Hernandez "Diseño y Control de Kokone un pequeño robot humanoide" Centro de Investigation y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Departamento de Computación, Cd Victoria Tamaulipas, Noviembre de 2009.

[5] Apsua Takanishi, Yu Ogura, Kazuho Itoh "Some Issues in Humanoid Robot Design", Department of Mechanical Engineering, Waseda University, Japan.

[6] . Armando Carlos de Pina Filho. Humanoid Robots. Published by Advanced Robotic Systems International. June 2007. Croatia. ISBN: 978-3-902613-00-4

[7] Peiman Naseradin Mousavi, C. Natarj, Ahmad Bagheri, Mahdi Alizadeh Entezari. 2008. Mathematical simulation of combined trajectory paths of a seven link biped robot. Applied mathematical modeling. Vol 32. Page. 1445-1462.

[8] Taesin Ha, Chong Ho Choi. 2007. An effective trajectory generation method for bipedal walking. Robotics and autonomous systems. Vol. 55. Page. 795-810.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 49. Volumen 4(4), 5 páginas

SISTEMA DE RECONSTRUCCIÓN TRIDIMENSIONAL DE OBJETOS BASADO EN UN SENSOR DE DESPLAZAMIENTO LÁSER

Jonny Paul Zavala de Paz[1], Eduardo Castillo Castañeda[1], Jaime de Jesús Reséndiz Pérez[1], Abraham González Hernández[1]

Resumen

Los sistemas de reconstrucción tridimensional como los escáneres 3D, están adquiriendo una especial importancia, sobre todo desde el punto de vista del modelado de objetos, en aplicaciones como la industria. En este trabajo se presenta un sistema de reconstrucción tridimensional basado en un sensor de desplazamiento láser (SDL). Este sistema consiste en un sistema de posicionamiento lineal el cual permite el montaje del SDL que se desplaza en el eje z, un sistema de posicionamiento angular donde el objeto es montado sobre una base giratoria.

Palabras Clave: Posicionamiento lineal, Posicionamiento angular. Reconstrucción Tridimensional, Sensor de desplazamiento láser.

Summary

The three dimensional reconstruction systems 3D scanners are gaining particular importance, especially from the viewpoint of object modeling, applications and industry. This paper presents a three-dimensional reconstruction system based on a laser displacement sensor (LDS). This system consists of a linear positioning system which allows assembly of LDS which moves in the z-axis angular positioning system where the object is mounted on a swivel base.

Keywords: Linear Positioning, Angular Positioning, Three-dimensional Reconstruction, Laser Displacement Sensor.

Introducción

En la actualidad los sistemas de reconstrucción tridimensional han adquirido gran importancia debido a los avances que se han producido desde el punto de vista computacional y gracias a la integración y desarrollo de nuevos sensores. Frutos de estos avances tecnológicos se ha producido, primero, el desarrollo de escáneres 2D que permite digitalizar objetos planos y después, la aparición de escáneres 3D que permiten digitalizar objetos con volumen [1]-[3].

Durante mucho tiempo se han utilizado sistemas de metrología basados en el contacto directo como son las máquinas por coordenadas. La precisión, el tiempo de barrido y el deterioro de la superficie, junto con la aparición e implementación de nuevas técnicas ópticas y los adelantos electrónicos y computacionales, son algunas de las razones para reemplazar la técnica por sistemas ópticos. Diferentes métodos ópticos, como interferometría en luz blanca y monocromática [4][5], interferometría Moiré, proyección de franjas triangulación láser [6][7], compiten en efectividad, tiempo de análisis, resolución, costo y rango de medidas para el diseño de sistemas de reconstrucción 3D.

En los trabajos [8]-[14] se presentan diferente métodos ópticos para la medición 3D. Los sistemas ópticos de reconstrucción tridimensional son utilizados en la industria debido a las características no invasivas, facilidad de implementación, amplio rango de campo de observación y resoluciones adecuadas. Dentro del amplio rango de métodos ópticos, la técnica de triangulación láser ofrece características interesantes, destacándose la facilidad en la implementación y reconstrucción de objetos.

[1] Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional. Cerro Blanco 141, Col. Colinas del Cimatario, C.P. 76090, Querétaro, México. Email: jzavalad0900@ipn.mx

En este trabajo se presenta un sistema de reconstrucción tridimensional basado en un sensor de desplazamiento láser (SDL). Este sensor trabaja sobre el principio de triangulación laser [15]-[17]. El sistema está formado por varios módulos, como son: sistema de posicionamiento lineal, sistema de posicionamiento angular, soporte del objeto, control de motor a pasos, control del SDL procesamiento de la información y visualización.

Descripción del Sistema

El sistema desarrollado en este trabajo es presentado en la Fig. 1. El sistema consiste en un sistema de posicionamiento lineal, en el cual está montado el SDL que se desplaza en el eje z utilizando un micrómetro. El sensor está montado sobre una base que le permite deslizarse por unos rieles, éste está conectado a un controlador que nos permite obtener el valor de la medición que arroja el sensor con respecto al objeto a medir. Los datos del sensor son extraídos por la PC a través del controlador del sensor.

Un sistema de posicionamiento angular, éste consiste en posicionar a ciertos grados el objeto, en este caso la partícula, el cual tiene incrementos en grados ($\Delta\theta$). Este sistema tiene una base giratoria que consta de un soporte donde va colocado el objeto. La base giratoria es movida utilizando un motor pasos, éste es manipulado usando un controlador de motor a pasos, lo que permite tener desplazamientos cada 0.9º por paso, teniendo un total de 400 pasos por vuelta (cada 360º).

Se desarrolló un programa con un lenguaje de alto nivel para el control del sistema, donde desde la PC se crea una interfaz para que el usuario pueda obtener una nube de puntos del objeto a digitalizar.

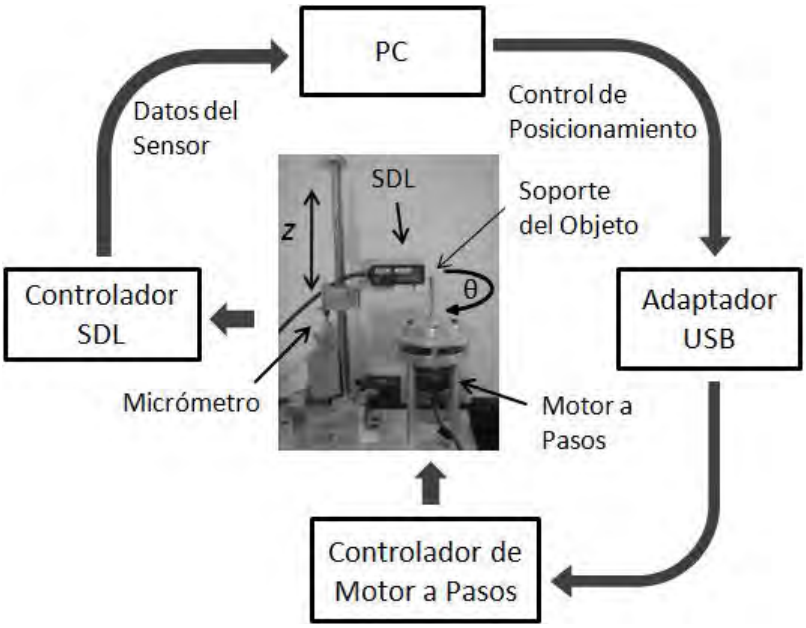


Fig 1. Diagrama del sistema

El sistema de reconstrucción tridimensional presentada está basada en un sensor de desplazamiento láser (Modelo LK-G10 de KEYENCE). Este sensor trabaja sobre el principio de triangulación láser. La Tabla 1 muestra las especificaciones del sensor utilizado.

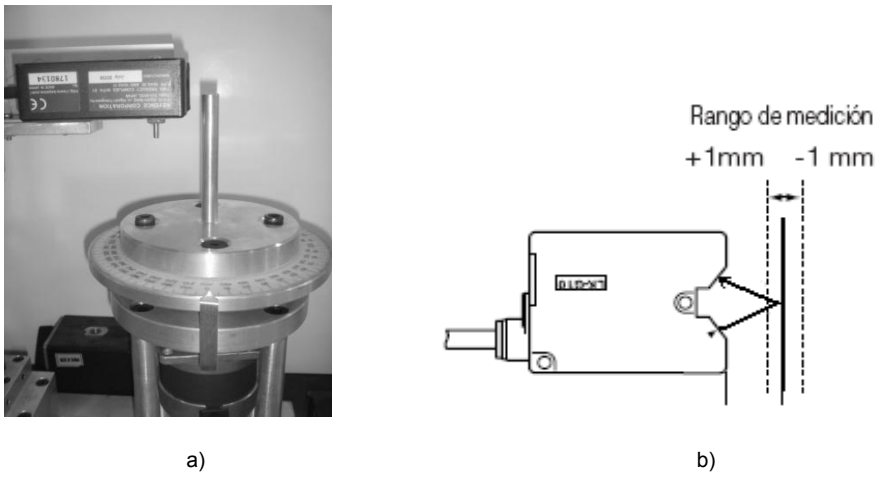
Tabla 1. Especificaciones del SDL.

Longitud de Referencia	10mm
Rango de Medición	±1mm
Tipo de Láser	Diodo Láser
Diámetro del Spot	20µm
Resolución	0.01µm

Adquisición de Datos

Con este sensor podemos obtener la distancia de un objeto en una determinada posición. Al encontrar la distancia (r), se tienen las tres coordenadas que conforman la posición completa de un punto (x, y, z). Cuando se obtienen una cantidad de puntos de un objeto, se puede reconstruir éste virtualmente.
Una vez que se conoce con exactitud la arquitectura del sistema y los elementos que modelan el sistema (distancias, orientaciones, escalados, etc.), se hace necesario el cálculo de coordenadas espaciales del objeto a digitalizar. Las coordenadas espaciales del objeto determinan la geometría de éste.

El objeto fue montado sobre el soporte de la base giratoria, como se presenta en la Fig 2a. El SDL se colocó a una distancia de 10 mm al centro de la base, donde se empezó a obtener el valor de la distancia adquirida por el sensor. La Fig 2b muestra el rango de medición del SDL.



a) b)

Fig 2. a) Sistema de posicionamiento angular. b) Rango de medición del SDL.

En la Fig. 3 se presenta el método utilizado para calcular profundidades *D*, es decir, las distancias entre los puntos de la superficie del objeto *P* y el sistema de CCD-láser, es el de triangulación [18]. El proceso de triangulación con láser consiste en calcular la profundidad *D* a la que se encuentra cada uno de los puntos de la superficie del objeto, mediante un sistema de coordenadas. Para ello el haz láser incide sobre la superficie del objeto y se adquieren un conjunto de puntos del objeto con el haz reflejando sobre éste.

El principio de adquisición de este proceso es el siguiente. Dados dos puntos *C* y *L* de los que se conoce la distancia *B* que los separa, es posible conocer la posición exacta que ocupa un punto *O* respecto a *C* y *L*, si además se conoce que los ángulos (θ_1, θ_2) forman el punto *O* (centro) con respecto a la línea base que une *C* y *L*. Se entiende que *C* es la posición del CCD, *L* la posición del laser y *O* la posición que se quiere estimar del objeto visible desde C y L. Si se denotan y conocen los puntos de vista del CCD y el láser respecto al objeto como los ángulos (θ_1, θ_2), el esquema de triangulación queda como se muestra en la Fig. 3. La cual se ubica el objeto sobre la plataforma giratoria. El ángulo (θ_3) que forma el láser y el CCD es de 75º.

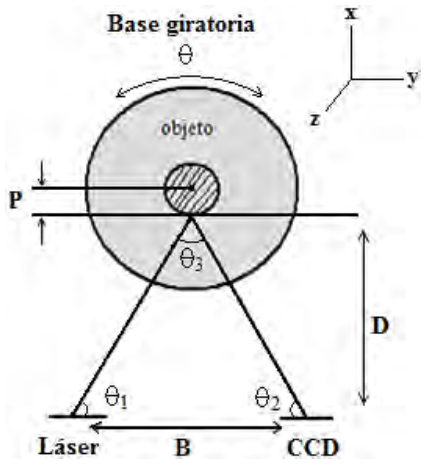


Fig 3. Proceso de triangulación láser.

Cuando se coloca un objeto sobre el plano XY, el láser del sensor sufre una deformación debido a la geometría del objeto. La cantidad de desplazamiento que sufre cada punto del láser con el objeto respecto a la referencia, está relacionada con la altura (h) del objeto en ese punto.

Cuando la base gira tiene incrementos $(\Delta\theta)$ para cada punto en el campo de vista del láser y posteriormente se calcula dividiendo el número de muestras (N) obtenidas en una rotación de 360º.
Entonces, para cualquier punto sobre la superficie, el radio (r) y el ángulo (θ) fueron calculados. Conociendo las coordenadas polares, las coordenadas cartesianas (x, y) del sistema, fueron utilizadas las siguientes ecuaciones:

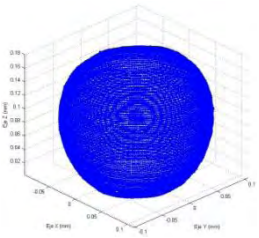
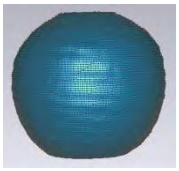
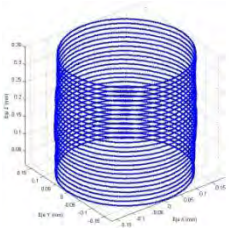
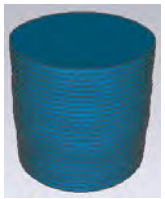
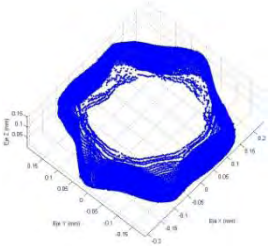
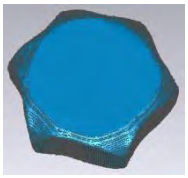
$$x = r.cos(\theta), \quad (1)$$
$$y = r.sen(\theta), \quad (2)$$
$$z = h. \quad (3)$$

Para cada escaneo, el sensor se fue moviendo en la dirección del eje z. Para cada valor z, un escaneo fue realizado para obtener las coordenadas (x, y).

Resultados Experimentales

Para validar esta técnica de reconstrucción tridimensional fueron utilizados objetos en forma de una esfera, un cilindro unitario y un prisma hexagonal. Se escaneó cada objeto hasta obtener la nube de puntos de cada uno. La Tabla 2 muestra los objetos usados para validar la técnica, la nube de puntos y su modelo en 3D. La Tabla 3 presenta los valores de los parámetros de forma de los objetos utilizados para validar el sistema.

Tabla 2. Objetos utilizados para validar el sistema.

Esfera		
Cilindro Unitario		
Prisma Hexagonal		

Conclusión

Este trabajo presenta una técnica de reconstrucción tridimensional de objetos basada en un sensor de desplazamiento láser. La reconstrucción permite obtener el modelo 3D, así como el volumen mismo. El modelo tridimensional del objeto genera una pérdida de precisión del método, como se observó en la

validación del experimento, la esfera presenta un error del 1% en volumen, esto debido a que el sensor tiene muy buena precisión.

Para la obtención de la reconstrucción tridimensional se requirió una buena precisión de la adquisición de la nube de puntos, esto se llevó a cabo con el sistema implementado de posicionamiento lineal y angular, lo que nos permitió obtener buenos resultados.

El sistema implementado tiene una gran utilidad para el control de calidad de objetos pequeños, debido al rango de medición que se tiene con el sensor, esto permite tener aplicaciones con objetos de dimensiones pequeñas y que hay muy pocos trabajos en esta área.

Tabla 3. Valores de los parámetros.

Objeto	Volumen Real (mm^3) V	Volumen (mm^3) V SDL	Error (%)	Área de Superficie Real (mm^2)	Área de Superficie (mm^2) SDL	Error (%)
Esfera	4.577	4.422	0.155	13.331	13.028	0.303
Cilindro Unitario	32.812	31.997	0.815	56.089	48.741	7.618
Prisma Hexagonal	19.32	17.665	1.65	40.436	32.801	7.635

Referencias

[1] Levoy M., Pulli K., Curless B., Rusinkiewicz S., Koller D., Pereira L., Ginzton M., Anderson S., Davis J., Ginsberg J., Shade J., Fulk D. "The Digital Michelangelo Project: 3D Scanning of Large Statues". Proceedings of ACM SIGGRAPH'00, July 2000, pp. 131-144.

[2] Rocchini C., Cignoni P., Montani C., Pingi P., Scopigno R. "A low cost 3D scanner based on structured light". Proceedings EUROGRAPHICS'01. Vol 20 (3), 2001, pp. 299-308.

[3] Serra J., Varona X., López A., Roca X., Villanueva J. "P3: a three-dimensional digitizer prototype". Proceedings IX Spanish Symposium on Pattern Recognition and Image Analysis. Vol. 1, 2001, pp. 315-322.

[4] P. Sandoz, G Tribillon, H. Perrin. High resolution profilometry by using phase calculation algorithms for spectroscopic analysis of White light interferograms, Journal of Moderns Optics, 43(4): 701-708, 1996.

[5] P. Sandoz, An algorithm for profilometry by white-light phase-shifting interferometry, Journal of moderns optics, 43(8): 1545-1554.

[6] M. Costa, Surface inspection by an optical triangulation method, Opt. Eng., Vol. 35 (9) 1996, pp. 2743-2747.

[7] M. Rioux, Laser range finder based on synchronized scanners, Applied Optics, Vol. 23 (21), 1984, pp. 3837-3844.

[8] Blais, F. A review of 20 years of range sensors development. *J. Electronic Imaging* **2004**, *13*, 231-240.

[9] Jarvis, R.A. A perspective on range finding techniques for computer vision. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 1983, *5*, 122-139.

[10] Besl, P.J. Active, optical range imaging sensors. *Mach. Vision Appl.* 1988, *1*, 127-152.

[11] Tiziani, H.J. Optical metrology of engineering surfaces-scope and trends. In *Optical Measurement Techniques and Applications*; Rastogi, P.K., Ed.; Artech House: Boston, MA, 1997; pp. 15-50.

[12] Chen, F.; Brown, G.M.; Song, M. Overview of three-dimensional shape measurement using optical methods. *Opt. Eng.* 2000, *39*, 10-22.

[13] Beraldin, J.A.; Blais, F.; Cournoyer, L.; Godin, G.; Rioux, M. Active 3D sensing, *NRC Publication Number,* Technical Report *44159*, Ottawa, 2001.

[14] Nitzan, D.; Brain, A.E.; Duda, R.O.; The measurement and use of registered reflectance and range data in scene analysis, *Proceedings of the IEEE*, New York, February 1977; *65*, pp. 206-220.

[15] Patiño A., Meneses J. "Optic system for mensuration of metrological parameters of the foot". Proceedings of SPIE, 2004.

[16] Patiño A., Miranda D. "Scanner 3D de objetos a 360º de observación". Revista Colombiana de Física, Vol. 35 (1), 2003, pp. 188-191.

[17] Xiao-Xue C., Xian-Yu S., Lu-Rong G. "Automated measurement method for 360º profilometry of 3D diffuse objects". Applied Optics, Vol. 30 (10), 1991, pp. 1274-1278.

[18] Klette R., Schlüns K. Koschan A., Computer Vision: Three-dimensional data from images, Springer, 1998, Singapure.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 68. Volumen 4(4), 9 páginas

CONTROL BASADO EN PLANITUD DIFERENCIAL DE UN SISTEMA DE TRASLACIÓN DE ROBOTS INDUSTRIALES USANDO OBSERVADORES DE PERTURBACIÓN DIFERENCIAL

(FLATNESS-BASED CONTROL OF A CONVEYOR SYSTEM FOR INDUSTRIAL ROBOTS USING DISTURBANCE OBSERVERS)

Francisco Beltrán Carbajal[1], Zeferino Damián Noriega[1], Sergio A. Villanueva Pruneda[1], Romy Pérez Moreno[1], J. Pedro A. Puerta Huerta[1]

Resumen

En este artículo proponemos un esquema de control basado en planitud diferencial y rechazo de perturbaciones para tareas de seguimiento robusto de trayectorias de referencia de posición en sistemas de traslación para robots industriales, utilizados comúnmente en celdas de manufactura flexible. En el proceso de diseño del controlador se considera un modelo matemático simplificado de la dinámica del sistema de translación del robot con motor de corriente directa y que solamente se dispone de un sensor para la medición de la posición del robot. Las dinámicas no modeladas del motor eléctrico con reductor de velocidad y del sistema de translación del robot, así como incertidumbres paramétricas y perturbaciones externas, se agrupan como una señal de perturbación variante en el tiempo, la cual será estimada en tiempo real y aniquilada mediante la acción del control.

Palabras clave: Control de Motores de CD, Sistemas Mecatrónicos, Transportador Lineal de Robots.

Abstract

In this article, a perturbation rejection and differential flatness-based control scheme is proposed for robust position reference trajectory tracking tasks in conveyor systems for industrial robots commonly employed in flexible manufacturing systems. In the control scheme design process, we consider a simplified mathematical model to describe the perturbed direct current motor–driven conveyor system dynamics, and assume that only a position sensor is available for the controller implementation. Parametric uncertainty, exogenous disturbances and unmodeled dynamics are lumped into an unknown bounded time-varying perturbation input signal, which will be estimated and canceled in real time by the controller.

Keywords: DC Motor Control, Mechatronic Systems, Robot Conveyor Systems.

Introducción

El problema del control de sistemas mecatrónicos que rinden servicio en enclaves industriales productivos, tales como sistemas de traslación (cintas transportadoras) de robot industriales, está caracterizado por dos elementos de naturaleza opuesta: Complejidad y Sencillez. Estos sistemas son, por lo general, complejos en su naturaleza propia y en su interrelación con el medio y por otra parte se requiere de esquemas de control sencillos, confiables y eficientes, que permitan regular adecuadamente su comportamiento y operación productiva.

La teoría y la praxis de los esquemas de control automático de nuestros días demandan, en su formulación teórica, el acopio de toda la información posible acerca del comportamiento del sistema. Esto implica un esfuerzo importante en el desarrollo y utilización de instrumentación especializada, para la implementación correcta del esquema de control propuesto. Esta inversión significativa no siempre está justificada de acuerdo al rendimiento final del sistema diseñado en su incidencia en el producto terminado, y se requiere, por tanto, de esquemas de control más eficientes.

[1] Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Departamento de Energía, San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, Deleg. Azcapotzalco. México D.F., México. E-mails: fran_belt29@hotmail.com, zdn@correo.azc.uam.mx, savp@correo.azc.uam.mx, romy@correo.azc.uam.mx, jpaph@correo.azc.uam.mx

Desde un punto de vista formal, el diseño de los mecanismos de control se lleva a cabo sobre la base de un modelo matemático del sistema que tan solo recoge la descripción parcial del mismo y que en la realidad física está sujeto a influencias externas desconocidas. El objetivo de control que se define para la operación correcta del sistema debe lograrse, entonces, a pesar de las incertidumbres presentes en el modelo del sistema y a pesar de las influencias externas desconocidas, las cuales aparecen como perturbaciones no modeladas de incidencia directa en la operación de la planta.

En este artículo proponemos un esquema de control basado en planitud diferencial y rechazo de perturbaciones para tareas de seguimiento robusto de trayectorias de referencia de posición en sistemas mecatrónicos de traslación para robots industriales, utilizados comúnmente en celdas de manufactura flexible. En el proceso de diseño del controlador se considera un modelo matemático simplificado de la dinámica del sistema de translación del robot con motor de corriente directa y que solamente se dispone de un sensor para la medición de la posición del robot. Las dinámicas no modeladas del motor eléctrico con reductor de velocidad y del sistema de translación del robot, así como incertidumbres paramétricas y perturbaciones externas completamente desconocidas pero acotadas, se agrupan como una señal de perturbación variante en el tiempo, la cual será estimada en tiempo real y aniquilada mediante la acción del control. El desarrollo de este trabajo se basa en las metodologías de diseño de esquemas de control robusto propuestas en [1] – [3].

Sistema de traslación de robots industriales

Modelo matemático del sistema de traslación.

El modelo matemático que describe la dinámica del mecanismo del sistema de traslación que se muestra en la Fig. 1 Sistema de Traslación está dado por:

$$\left[J_1 + \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 J_2 + m r_1^2 \right] \ddot{\theta}_1 + \left[b_1 + \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 b_2 \right] \dot{\theta}_1 = \tau - f(t) \tag{1}$$

donde: θ_1 y θ_2 son los desplazamientos angulares de las poleas 1 y 2, respectivamente,
x es el desplazamiento lineal del robot,
τ es el par de control suministrado por un motor de corriente directa (CD) y
$f(t)$ son perturbaciones de par externas no conocidas.
J_1, r_1 y b_1 es el momento de inercia, radio y amortiguamiento viscoso rotacional de la polea 1, respectivamente.
J_2, r_2 y b_2 es el momento de inercia, radio y amortiguamiento viscoso rotacional de la polea 2, respectivamente, y
m es la masa del robot.

Otra configuración que se usa comúnmente para desplazar brazos manipuladores robóticos en celdas de manufactura flexibles, consiste en acoplar este mecanismo al sistema que se muestra en la Fig. 2. En [4] se presenta un ejemplo de modelado y supresión de vibración en un mecanismo de transmisión de movimiento para un robot montado sobre un riel. La estrategia de control que proponemos se puede aplicar para cualquier mecanismo de transmisión de movimiento cuya dinámica se aproxime a una de segundo orden.

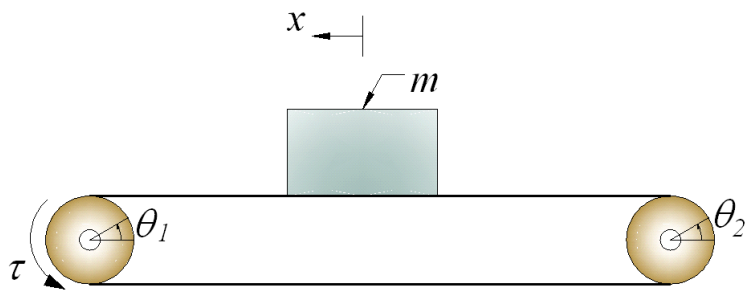


Fig. 1. Mecanismo de un Sistema de Traslación para Robots Industriales.

Fig. 2. Sistema de Traslación de Robots en Celdas de Manufactura.

Motor de CD con reductor de velocidad.

El modelo matemático de un motor de corriente directa (CD) con reductor de velocidad, el cual se utiliza como actuador del sistema de traslación que se muestra en la Fig. 1, está dado por

$$\begin{aligned} L\frac{d}{dt}i(t) &= -Ri(t) - k_e n\dot{\theta}_0(t) + u(t) \\ \left(J_0 + n^2 J_m\right)\ddot{\theta}_0 &= -\left(b_0 + n^2 b_m\right)\dot{\theta}_0 + nk_m i - \tau_L \end{aligned} \tag{2}$$

donde: $i(t)$ denota la corriente del circuito de armadura,

$\theta_0(t)$ representa el desplazamiento angular del eje del reductor de velocidad y

n es la relación de reducción de velocidad del reductor

L es la inductancia del circuito de armadura,

J_m y J_0 son los momentos de inercia de los eje del motor y reductor de velocidad, respectivamente,

u es el voltaje aplicado al circuito de armadura, el cual se utiliza como variable de control, y

τ_m es el par generado por el motor.

k_e es la constante de fuerza contra electromotriz y

k_m es la constante de par del motor.

R es la resistencia del circuito de armadura,

b_m y b_0 son los coeficientes de amortiguamiento viscoso de los ejes del motor y del reductor de velocidad, respectivamente.

τ_L representa el par de carga debido a la dinámica del sistema de traslación del robot.

Sistema de traslación con motor de CD.

A partir de las ecuaciones diferenciales (1) y (2), obtenemos el siguiente modelo matemático que describe la dinámica del sistema de traslación de un robot industrial actuado por un motor de CD:

$$\begin{aligned} L\frac{d}{dt}i(t) &= -Ri(t) - k_e n\dot{\theta}_0(t) + u(t) \\ J_{eq}\ddot{\theta}_0 &= -b_{eq}\dot{\theta}_0 + nk_m i - f\left(t\right) \end{aligned} \tag{3}$$

con

$$J_{eq} = \left(J_0 + n^2 J_m\right) + J_1 + \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 J_2 + mr_1^2$$

$$b_{eq} = \left(b_0 + n^2 b_m\right) + b_1 + \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 b_2$$

donde: J_{eq} y b_{eq} son el momento de inercia y el coeficiente de amortiguamiento rotacional viscoso equivalentes del sistema.

El modelo matemático (3) se puede expresar en términos del desplazamiento lineal x del robot como

$$\begin{aligned} L\frac{d}{dt}i(t) &= -Ri(t) - \frac{k_e n}{r_1}\dot{x}(t) + u(t) \\ \frac{J_{eq}}{r_1}\ddot{x} &= -\frac{b_{eq}}{r_1}\dot{x} + nk_m i - f(t) \end{aligned} \tag{4}$$

Definiendo como variables de estado al desplazamiento y velocidad del robot y a la corriente eléctrica:

$$x_1 = x,\ x_2 = \dot{x},\ x_3 = i$$

obtenemos la siguiente representación del sistema en espacio de estados:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -\frac{b_{eq}}{J_{eq}}x_2 + \frac{r_1 n k_m}{J_{eq}}x_3 - \frac{r_1}{J_{eq}}f(t) \\ \dot{x}_3 &= -\frac{R}{L}x_3 - \frac{k_e n}{r_1 L}x_2 + \frac{1}{L}u \end{aligned} \tag{5}$$

Control basado en planitud diferencial

El sistema de traslación con motor de CD (5) es diferencialmente plano, con la *salida plana* dada por el desplazamiento del robot $y = x_1$. Entonces, todas las variables de estado y la entrada de control se pueden expresar en términos de la salida plana y y de un número finito de sus derivadas (Fliess *et al.* [5]). Para esto, calculamos las derivadas con respecto del tiempo hasta de tercer orden de la salida plana $y = x_1$:

$$\begin{aligned} y &= x \\ \dot{y} &= x_2 \\ \ddot{y} &= -\frac{b_{eq}}{J_{eq}}x_2 + \frac{r_1 n k_m}{J_{eq}}x_3 - \frac{r_1}{J_{eq}}f(t) \\ y^{(3)} &= -\left(\frac{b_{eq} r_1 n k_m}{J_{eq}^2} + \frac{r_1 n k_m R}{J_{eq} L}\right)x_3 + \left(\frac{b_{eq}^2}{J_{eq}^2} - \frac{r_1 k_e k_m n^2}{J_{eq} r_1 L}\right)x_2 + \frac{r_1 n k_m}{J_{eq} L}u \\ &\quad -\frac{r_1}{J_{eq}}\dot{f}(t) + \frac{b_{eq} r_1}{J_{eq}^2}f(t) \end{aligned} \tag{6}$$

De esta expresión se obtiene la siguiente parametrización diferencial del sistema (5):

$$\begin{aligned} x_1 &= y \\ x_2 &= \dot{y} \\ x_3 &= \frac{J_{eq}}{n r_1 k_m}\ddot{y} + \frac{b_{eq}}{r_1 n k_m}\dot{y} + \frac{1}{n k_m}f(t) \\ u &= \frac{J_{eq} L}{r_1 n k_m}y^{(3)} + \frac{b_{eq} L + J_{eq} R}{n r_1 k_m}\ddot{y} + \frac{b_{eq} R + k_e k_m n^2}{n r_1 k_m}\dot{y} + \frac{R}{n k_m}f(t) + \frac{L}{n k_m}\dot{f}(t) \end{aligned} \tag{7}$$

Por consiguiente, la salida plana *y* satisface la siguiente ecuación diferencial entrada-salida perturbada:

$$y^{(3)} = -\gamma_2\ddot{y} - \gamma_1\dot{y} + \gamma u - \frac{r_1 R}{J_{eq} L}f(t) - \frac{r_1}{J_{eq}}\dot{f}(t) \tag{8}$$

donde:

$$\gamma = \frac{r_1 n k_m}{J_{eq} L}$$
$$\gamma_1 = \frac{n^2 k_m k_e + R b_{eq}}{J_{eq} L}$$
$$\gamma_2 = \frac{b_{eq}}{J_{eq}} + \frac{R}{L}$$

En el diseño del esquema de control suponemos que no se conocen los valores de las constantes γ_1 y γ_2, y que posiblemente se tiene incertidumbre en el valor exacto de la ganancia de control γ. Así, consideramos la siguiente ecuación diferencial perturbada para describir la dinámica para el sistema de traslación del robot:

$$y^{(3)} = \gamma u + \phi(t) \tag{9}$$

donde:

$$\phi(t) = -\gamma_2 \ddot{y} - \gamma_1 \dot{y} - \frac{r_1 R}{J_{eq} L} f(t) - \frac{r_1}{J_{eq}} \dot{f}(t)$$

En nuestro análisis, consideramos a la función $\phi(t)$ como una señal de perturbación, la cual agrupa a las perturbaciones debidas a incertidumbres paramétricas, dinámicas no modeladas y perturbaciones externas.

Entonces, a partir de la ecuación diferencial (9), proponemos el siguiente controlador basado en planitud diferencial, para tareas de seguimiento de trayectorias de referencia deseada para la posición del robot $y^*(t)$:

$$u = \frac{1}{\gamma}\left[\left(y^*\right)^{(3)} - \alpha_2 \left(\ddot{y} - \ddot{y}^*(t) \right) - \alpha_1 \left(\dot{y} - \dot{y}^*(t) \right) - \alpha_0 \left(y - y^*(t) \right) - \phi \right] \tag{10}$$

donde: $\dot{y}$, $\hat{\ddot{y}}$ y ϕ son las señales estimadas de la velocidad, aceleración y perturbación, respectivamente, mediante el empleo de un observador de Luenberger.

El uso de este controlador conduce a la siguiente dinámica en lazo cerrado para el error de seguimiento $e = y - y^*(t)$:

$$e^{(3)} + \alpha_2 \ddot{e} + \alpha_1 \dot{e} + \alpha_0 e = 0 \tag{11}$$

Entonces, seleccionado las ganancias del controlador α_i , $i = 0, \cdots, 3,$ para que el polinomio característico para (11) sea *Hurwitz*, garantizamos que la dinámica del error de seguimiento sea asintóticamente estable.

Diseño del observador de perturbación

En el proceso de diseño del observador se asume que la señal de perturbación ϕ se puede aproximar localmente mediante una familia de polinomios de Taylor de segundo grado [2]:

$$\phi = a_0 + a_1 t + a_2 t^2$$

donde todos los coeficientes a_i, $i = 0,1,2,$ no son conocidos.

Entonces, la señal de perturbación se puede describir localmente mediante el siguiente modelo matemático:

$$\begin{aligned} \dot{\xi}_1 &= \xi_2 \\ \dot{\xi}_2 &= \xi_3 \\ \dot{\xi}_3 &= 0 \end{aligned} \tag{12}$$

donde $\xi_1 = \phi$, $\xi_2 = \dot{\phi}$, $\xi_3 = \ddot{\phi}$.

Por consiguiente, un modelo matemático que describe localmente la dinámica perturbada de la salida plana es

$$\begin{aligned}
\dot{z}_1 &= z_2 \\
\dot{z}_2 &= z_3 \\
\dot{z}_3 &= \gamma u + \xi_1 \\
\dot{\xi}_1 &= \xi_2 \\
\dot{\xi}_2 &= \xi_3 \\
\dot{\xi}_3 &= 0 \\
y &= z_1
\end{aligned} \tag{13}$$

A partir de este modelo extendido proponemos el siguiente observador para estimación de las señales no disponibles:

$$\begin{aligned}
\dot{z}_1 &= z_2 + \lambda_5 \left(z_1 - z_1 \right) \\
\dot{z}_2 &= z_3 + \lambda_4 \left(z_1 - z_1 \right) \\
\dot{z}_3 &= \gamma u + \xi_1 + \lambda_3 \left(z_1 - z_1 \right) \\
\dot{\xi}_1 &= \xi_2 + \lambda_2 \left(z_1 - z_1 \right) \\
\dot{\xi}_2 &= \xi_3 + \lambda_1 \left(z_1 - z_1 \right) \\
\dot{\xi}_3 &= \lambda_0 \left(z_1 - z_1 \right)
\end{aligned} \tag{14}$$

La dinámica del error de observación se obtiene restando (14) a (12):

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \\ \dot{e}_4 \\ \dot{e}_5 \\ \dot{e}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\lambda_5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\lambda_4 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\lambda_3 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\lambda_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\lambda_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \\ e_5 \\ e_6 \end{bmatrix} \tag{15}$$

con $e_1 = z_1 - z_1$, $e_2 = z_2 - z_2$, $e_3 = z_3 - z_3$, $e_4 = \xi_1 - \xi_1$, $e_5 = \xi_2 - \xi_1$ y $e_6 = \xi_3 - \xi_1$.

Entonces, seleccionando las ganancias del observador para que el polinomio característico para (15),

$$p_o(s) = s^6 + \lambda_5 s^5 + \lambda_4 s^4 + \lambda_3 s^3 + \lambda_2 s^2 + \lambda_1 s + \lambda_0 \tag{16}$$

sea *Hurwitz*, garantizamos que la dinámica del error de observación sea exponencialmente asintóticamente estable.

Resultados en Simulación

Algunas simulaciones numéricas fueron realizadas en un sistema de traslación caracterizado por el conjunto de parámetros de la Tabla 1.

Los parámetros de diseño del controlador fueron seleccionados para tener el siguiente polinomio característico de tercer grado para la dinámica del error de seguimiento en lazo cerrado (11):

$$p_c(s) = \left(s + p_c \right) \left(s^2 + 2\zeta_c \omega_{nc} s + \omega_{nc}^2 \right)$$

con $p_c = \omega_{nc} = 12$ rad/s y $\zeta_c = 0.7071$.

Tabla 1. Parámetros del sistema de traslación con motor de CD.

$R = 1.43\ \Omega$	$J_0 = 14.6\times10^{-5}$ kg m^2
$L = 0.643$ H	$J_m = 1.65\times10^{-5}$ kg m^2
$k_m = 0.233$ N m/A	$k_e = 0.109$ rad/V
$b_0 = 1\times10^{-3}$ kg m^2/s	$b_m = 1\times10^{-3}$ kg m^2/s
$n = 3.7$	$m = 50$ kg
$r_1 = 0.025$ m	$b_1 = 1\times10^{-3}$ kg m^2/s
$r_2 = 0.025$ m	$b_2 = 1\times10^{-3}$ kg m^2/s
$J_1 = 3.125\times10^{-5}$ kg m^2	$J_2 = 3.125\times10^{-5}$ kg m^2/s

Las ganancias del observador fueron seleccionadas para que la dinámica del error de estimación tenga el siguiente polinomio característico de sexto grado:

$$p_o(s) = \left(s^2 + 2\zeta_o\omega_{no}s + \omega_{no}^2\right)^3$$

con $\omega_{no} = 300$ rad/s y $\zeta_c = 5$.

En la Fig. 3 se muestra el desempeño robusto del controlador (10), para el seguimiento de una trayectoria de referencia que permite trasladar el robot de la posición de equilibrio $\bar{y}_1$, para $t \le T_1$, y posteriormente transferir de manera suave el robot a la posición de equilibrio $\bar{y}_2$, para $t \ge T_2$. Esta trayectoria de referencia está descrita por

$$y^*(t) = \begin{cases} \bar{y}_1 & \text{para } 0 \le t < T_1 \\ \bar{y}_1 + (\bar{y}_2 - \bar{y}_1)\psi(t, T_1, T_2) & \text{para } T_1 \le t \le T_2 \\ \bar{y}_2 & \text{para } t > T_2 \end{cases} \tag{17}$$

donde $\bar{y}_1 = 0$ m, $\bar{y}_2 = 1$ m, $T_1 = 0$ s, $T_2 = 3$ s y $\psi(t, T_1, T_2)$ es un polinomio de interpolación de Bézier, con $\psi(T_1, T_1, T_2) = 0$ y $\psi(T_2, T_1, T_2) = 1$, dado por

$$\psi(t) = \left(\frac{t - T_1}{T_2 - T_1}\right)^5 \left[r_1 - r_2\left(\frac{t - T_1}{T_2 - T_1}\right) + r_3\left(\frac{t - T_1}{T_2 - T_1}\right)^2 - \ldots - r_6\left(\frac{t - T_1}{T_2 - T_1}\right)^5 \right] \tag{18}$$

con $r_1 = 252,\ r_2 = 1050,\ r_3 = 1800,\ r_4 = 1575,\ r_4 = 1575,\ r_5 = 700,\ r_6 = 126.$

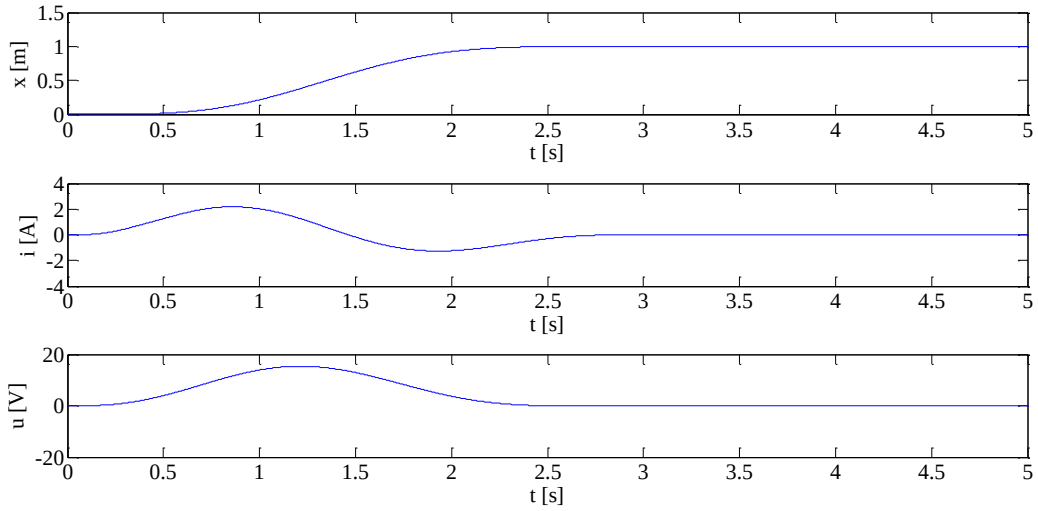


Fig. 3. Respuestas del sistema de traslación en lazo cerrado.

En la Fig. 4 se muestra la estimación rápida y efectiva de la señal de perturbación, usando el observador (14).

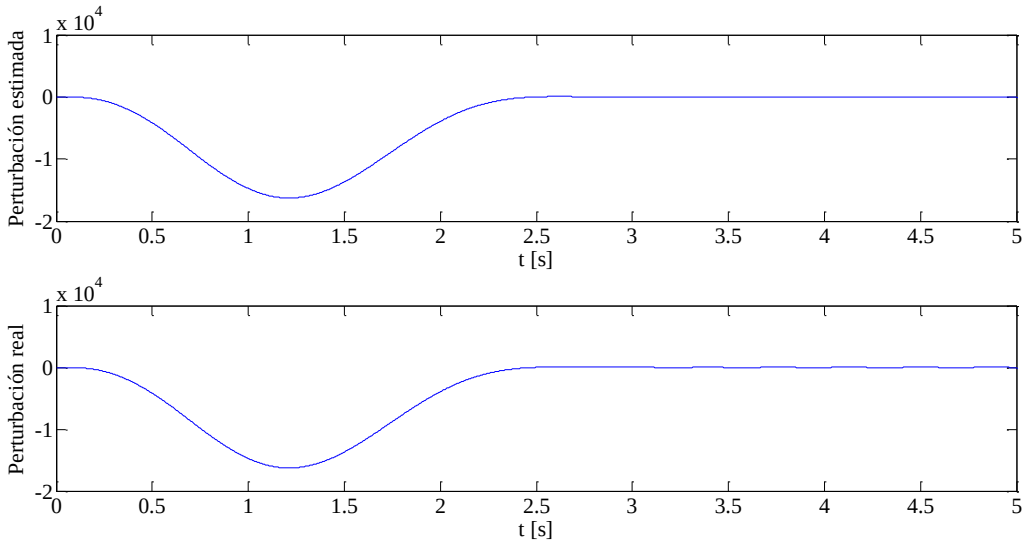


Fig. 4. Estimación de la señal de perturbación.

Conclusiones

En este artículo hemos propuesto un esquema de control robusto para tareas de seguimiento de trayectorias de referencia de posición en sistemas de traslación para robots industriales, el cual está basado en la estimación en tiempo real de señales de perturbación y en el uso de modelos matemáticos simplificados.

Nuestro enfoque de diseño explotó la propiedad de la planitud diferencial que exhibe el sistema en el diseño del controlador y de un observador que permite estimar en línea señales de perturbación y derivadas con respecto del tiempo, hasta de segundo orden, de la salida plana.

La idea principal de nuestra propuesta se centró en agrupar a las dinámicas no modeladas, incertidumbres paramétricas y perturbaciones externas en una señal de perturbación que afecta a la dinámica de la salida plana, la cual debe ser estimada en tiempo real y aniquilada mediante la acción del control. Los resultados en simulación muestran el desempeño robusto y eficiente del esquema de control propuesto.

Referencias

[1] H. Sira-Ramirez, F. Beltran-Carbajal and A. Blanco-Ortega, "A Generalized Proportional Integral Output Feedback Controller for the Robust Perturbation Rejection in a Mechanical System", *e-STA Sciences et Technologies de l'Automatique*, Vol. 5, No. 4, pp. 24-32, 2008.

[2] H. Sira-Ramirez, V. Feliu-Batlle, F. Beltran-Carbajal and A. Blanco-Ortega, "Sigma-Delta modulation sliding mode observers for linear systems subject to locally unstable inputs", 16th Mediterranean Conference on Control and Automation, pp. 344-349, Ajaccio, France, June 25-27, 2008.

[3] H. Sira-Ramirez, F. Beltran-Carbajal and A. Blanco-Ortega, "A Robust Generalized Proportional Integral Controller for the Induction Motor", The 10th International Workshop on Variable Structure Systems, pp. 89-94, Antalya, Turkey, June 8-10, 2008.

[4] W. Tao, M. Zhang and O. Ma, "Modeling and Vibration Suppression for Industrial Track Robots", 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1072-1077, Orlando, Florida, USA, May 2006.

[5] M. Fliess, J. Lé vine, P. Martin and P. Rouchon, "Flatness and defect of nonlinear systems: Introductory theory and examples", International Journal of Control, Vol. 61(6), pp. 1327-1361, 1993.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 75. Volumen 4(4), 10 páginas.

CONTROL INTELIGENTE PARA UN SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGIA

Kelvin de Jesús Beleño Sáenz[1], Aldo Pardo Garcia[1], Ivaldo Torres Chávez[1] , Carlos Gabriel Díaz Sáenz[2]

Resumen

Este trabajo trata del desarrollo del control para un sistema hibrido de energía mediante el uso de técnicas inteligentes de control (Lógica difusa). Las fuentes para el sistema son: un sistema fotovoltaico, sistema de almacenamiento (Baterías) y la red eléctrica convencional. Este sistema se basa en una regla de comparación en niveles de energía tomando como fuente prioritaria para el suministro de energía eléctrica la proveniente de los módulos fotovoltaicos. Cuando la energía suministrada por este sistema no es suficiente para alimentar una carga mínima de 300Watts, el sistema tiende a operar de forma autónoma las baterías inicialmente cargada con la energía suministrada por el panel o en su defecto por la red eléctrica convencional. Como última opción aparece la conmutación del sistema a la red eléctrica, la cual luego de que se compruebe que las anteriores fuentes no suplen la necesidad de la carga, entrará esta a suministrar la energía, para de esta forma proveer la energía sin interrupciones. Para el acondicionamiento de las señales obtenidas a partir del sistema fotovoltaico y las baterías, se desarrolló un inversor DC-AC utilizando estrategias PWM como mecanismo de conversión y utilizando como dispositivos para la conmutación controlada del inversor Mosfet de potencia.

Palabras claves: Solar, Hibrido, Lógica Difusa, Inversor, Control.

Abstract

This paper addresses the development of hybrid control for a power system using intelligent control techniques (fuzzy logic). The sources for the system are: a photovoltaic system, storage system (batteries) and the conventional electric network. This system is based on a comparison rule making power levels as a priority source for the supply of electricity from photovoltaic modules. When the energy supplied by this system is not enough to feed a minimum load of 300 W, the system tends to operate independently initially charged with battery power supplied by the panel or in his absence by the conventional electric network. As a final option is switching to the electric network, which after it is established that those sources do not replace the need for load, come to supply this energy, in this way to provide uninterrupted power. Design of the signals obtained from the photovoltaic system and the batteries are developing DC-AC inverter using PWM strategies as a translation device and using a controlled switching devices for power MOSFET inverter.

Palabras claves: Solar, Hybrid, Fuzzy Logic, Inverter, Control.

Introducción

Los sistemas fotovoltaicos están conformados básicamente por un panel solar o arreglo de paneles solares una batería un regulador de carga para la batería y si la carga requiere corriente alterna un inversor de DC/AC.

Un inversor DC/CA es un dispositivo que se encarga de convertir un voltaje de directa a alterna estos dispositivos son de gran utilidad en los automóviles en aplicaciones tales como carga de celulares, instalación de plantas de sonido y video, y otros aparatos los cuales se alimentan de energía eléctrica alterna.

Para el diseño de un inversor se deben tener en cuenta aspectos muy importantes como: la potencia, la frecuencia y los distintos componentes con los cuales estará conformado. Hay dos tipos de inversores monofásicos y trifásicos y para su diseño se puede utilizar dispositivos con activación controlada como BJT, MOSFET, IGBT, MCT, SIT, GTO.

[1] Universidad de Pamplona, Km 1 Vía a B/manga, Pamplona Colombia. Tel:+75695303. Email: rikelvin1984@gmail.com

[2] Universidad Autónoma del Caribe, Calle 90 # 46-112, B/quilla Colombia. Tel:+53366851. Email:diaz.saenz@gmail.com

El sistema a implementar consiste en la selección autónoma de fuentes (Solar fotovoltaica, sistema de energía almacenada y red eléctrica convencional.) para el suministro ininterrumpido de energía eléctrica. Para lograr esto utilizaremos un controlador basado en lógica difusa (Fuzzy Logic).

La lógica difusa ha surgido como una herramienta importante para el control de subsistemas y procesos industriales complejos, así como también para la electrónica de entretenimiento y hogar, sistemas de diagnóstico y otros sistemas expertos.

En esencia un controlador lógico difuso, contiene un algoritmo que es capaz de convertir una estrategia de control lingüística en una estrategia de control automático. Con la lógica difusa se pueden diseñar aplicaciones para que las máquinas respondan con mayor inteligencia a la imprecisión y a las condiciones del mundo exterior, con lo que se busca imitar el comportamiento humano.

Técnica de Control

Estructura de los conjuntos difusos

La estructura de un control difuso está conformada por: una interfaz de fuzzificación que se encarga de convertir la entrada al controlador (un valor crisp) a un valor difuso, un mecanismo de inferencia que se encarga de realizar el proceso de razonamiento para estimar la salida en función de la entrada este mecanismo de inferencia está compuesto por una base de datos la cual contiene la definición lingüística de las variables y una base de reglas la cual contiene el conjunto de acciones a realizar en función del estado de las variables de entrada. Para finalizar la interfaz de defuzzificación, esta interfaz convierte la salida difusa a un valor crisp.

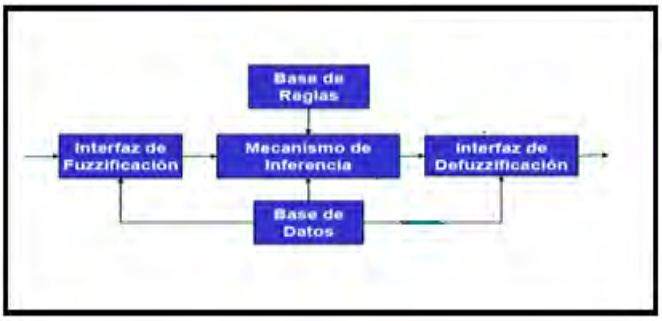


Figura 1. Diagrama en bloques de la estructura de los conjuntos difusos

En función del tipo de regla difusa que se utilicen, se pueden distinguir principalmente dos tipos

- Tipo Mamdani [1975]
- Tipo TSK (Takagi, Sugeno y Kang) [1985, 1988]

En el motor de inferencia Mamdani tenemos dos enfoques principales.

Enfoque FATI (first aggregate, then inferencé): aplicar el operador de implicación con la entrada dada a cada una de las reglas y obtener su correspondiente conjunto difuso de salida. A continuación, agregar los conjuntos difusos de salida obtenidos para construir una única salida. Finalmente, reducir el conjunto difuso agregado resultante a un valor característico (número crisp).
Ventaja: Resultado más fiel a la representación lingüística

*Enfoque FITA (first inferencé, then aggregate): a*plicar el operador de implicación con la entrada dada a cada regla para obtener el conjunto difuso de salida y reducir éste a un valor característico (número crisp). A continuación, agregar estos valores (por ejemplo, mediante la media ponderada por el grado de emparejamiento) [1,2].

La topología que se utiliza para definir los conjuntos difusos es la triangular, ya que esta ofrece una respuesta lineal con mayor grado de selectividad. Esta topología es mucho más sencilla de representar en lenguaje de programación (Software CCS) y se puede definir un grado de incertidumbre frente a un solo dato de estado que se desee.

Inversor con Transformador de Toma Media ("Push-Pull")
Esta topología la podemos ver en la Fig. 2, su configuración es muy similar a la de medio puente: cuando se activa el pulsador *S1,* la corriente gira en sentido contrario a las manecillas del reloj a través de la primera derivación, generando un pulso positivo en la salida del transformador (devanado secundario). Cuando se activa *S2,* la corriente cambia de sentido y de esta manera se invierte el pulso a la salida del transformador.

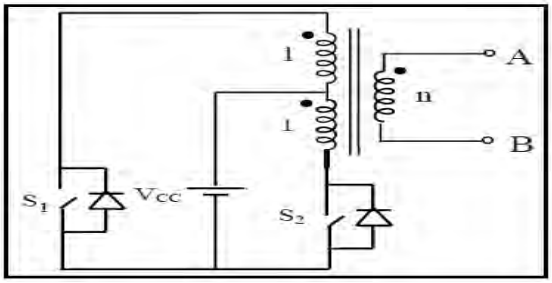


Figura 2. Esquema de un inversor con transformador de toma media [3].

En la Fig. 3 podemos ver la señal de salida de un inversor monofásico con transformador de toma media (push-pull). . Para esta topología debemos tener en cuenta el número de espiras del primario y del secundario ya que estas definen la como tal el valor de la tensión en la salida. El devanado primario tiene una división o derivación central. Para que la amplitud del pulso positivo sea igual a la magnitud del pulso negativo esta división del devanado primario debe ser simétrica.

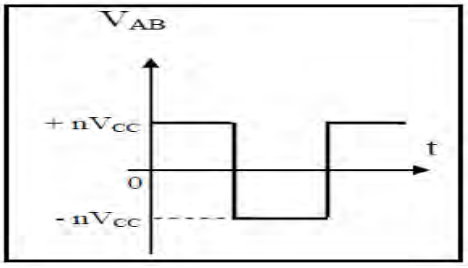


Figura 3. Voltaje de salida para un inversor (push-pul) [3].

Para esta configuración es necesario añadir diodos en anti paralelo con los transistores de potencia, para permitir la circulación de corriente de la carga cuando se abren todos los transistores. Si no se añaden diodos, se crean grandes sobretensiones debido al corte instantáneo de la corriente por la inductancia de la carga, con lo que acaba destruyéndose el convertidor de potencia.

Modulación por ancho de pulso optimizada

Este tipo de modulación aparece como resultado del creciente desarrollo en la tecnología de microprocesadores, que ha facilitado la realización a estas estrategias. Esta técnica permite implementar la modulación PWM en un modelo computarizado proponiendo un nuevo método basado en esta estrategia [4].

Metodología para el Diseño

Mecanismo de Inferencia para el diseño del controlador

Como se mencionó anteriormente el mecanismo de inferencia está conformado por la base de datos y la base de reglas, que son las que van a determinar la acción de control en el sistema. A continuación definiremos cada una de ellas.

Base de Datos

A. Variables de estado y de proceso

Nuestro controlador tiene como variables de estado o de entrada el estado del clima y nivel de carga en la batería. Para ello se define el conjunto difuso a partir de las variables siguientes.

- Variable lingüística:

  Estado del clima.

- Variables difusas:

  1. Oscuro.
  2. Nublado.
  3. Soleado.

- Variable lingüística:

  Nivel de carga de la batería.

- Variables difusas:
  1. Carga baja.
  2. Carga media.
  3. Carga alta.

Nuestra variable de proceso será la fuente de alimentación, esta será nuestra variable de salida.

- Variable lingüística:

  Fuente de alimentación.

- **Variables difusas:**
  1. Panel.
  2. Batería.
  3. Red convencional

B. Variable lingüística estado del clima

Para la variable lingüística *estado del clima* tenemos un universo de discurso que va desde *20* hasta *24*. Este rango fue elegido ya que con un voltaje menor en el panel no tendrá la energía suficiente para alimentar el inversor y suministrar carga a la batería a la vez.

El diagrama de los conjuntos difusos para la variable estado del clima se muestra en la Fig. 4. Las siglas *DOS*, *DOP* y *DSO* que aparecen en la Fig. 4, hacen referencia a las etiquetas de los conjuntos difusos Día Oscuro, Día Opaco y Día Soleado respectivamente.

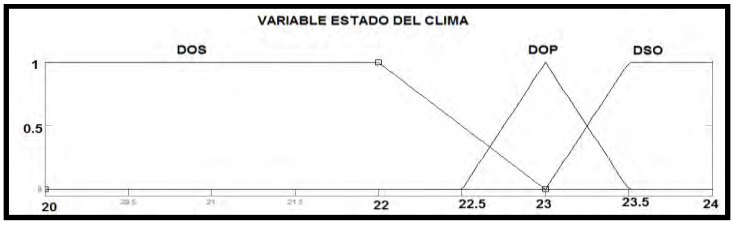


Figura 4. Funciones de membrecía para la variable estado del clima.

Para obtener el comportamiento de las distintas variables, es necesario obtener el modelo matemático que representa cada conjunto de las variables del sistema denotadas por rangos dentro del universo de discurso. Para este modelado se utiliza la ecuación de la recta:

Ecuación para hallar la pendiente:

$$m = \frac{y1-y0}{x1-x0} \tag{1}$$

Ecuación de la recta:

$$y = m(x1 - x0) + y0 \tag{2}$$

Aplicando estas ecuaciones a cada uno de los conjuntos, se obtienen las ecuaciones para los diferentes conjuntos.

Conjunto difuso oscuro:

$$dia\ oscuro \begin{cases} 1 & 20 < x < 22 \\ -x + 23 & 22 \leq x < 23 \\ 0 & x \geq 23 \end{cases} \tag{3}$$

Conjunto difuso nublado:

$$dia\ opaco \begin{cases} 0 & x < 22 \\ x - 22 & 22 \leq x < 23 \\ -2x + 27 & 23 \leq x \leq 23.5 \\ 0 & x > 23.5 \end{cases} \tag{4}$$

Conjunto difuso soleado.

$$dia\ soleado\begin{cases} 0 & 20 \le x < 23 \\ -x + 23 & 23 \le x < 23.5 \\ 1 & x \ge 23.5 \end{cases} \quad (5)$$

C. Variable lingüística nivel de carga

Para la variable lingüística nivel de carga de la batería él un universo de discurso está entre (10 y 13). Este rango fue definido según el comportamiento de la batería frente al inversor y su nivel máximo de carga.
Los acrónimos *CB*, *CN* y *CA* que aparecen en la Fig. 5 hacen referencia a las etiquetas de los conjuntos difusos Carga Baja, Carga Normal y Carga Alta respectivamente.

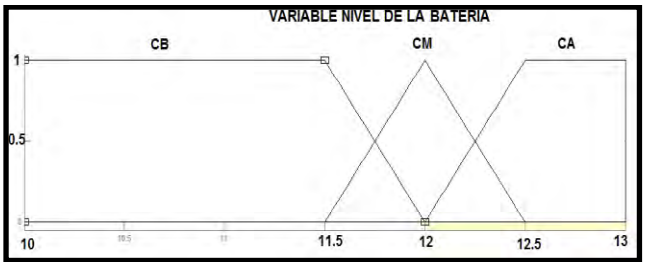


Figura 5. Funciones de membrecía para la variable nivel de la batería

Conjunto difuso Carga Baja:

$$Carga\ baja\begin{cases} 1 & x < 11.5 \\ -2x + 24 & 11.5 \le x \le 12 \\ 0 & x > 12 \end{cases} \quad (6)$$

Conjunto difuso Carga Media:

$$carga\ normal\begin{cases} 0 & x < 11.5 \\ 2x - 23 & 11.5 \le x < 12 \\ -2x + 25 & 12 \le x \le 12.5 \\ 0 & x > 12.5 \end{cases} \quad (7)$$

Conjunto difuso Carga Alta:

$$carga\ alta\begin{cases} 0 & x < 12 \\ -2x + 24 & 12 \le x \le 12.5 \\ 1 & x > 12.5 \end{cases} \quad (8)$$

D. Variable de control selección de fuente

La variable de salida es de tipo Singleton debido a que vamos a seleccionar la fuente entre panel, batería y red eléctrica. Estas salidas están representadas mediante valores discretos. En la Fig. 6 se muestran los tres conjuntos difusos.

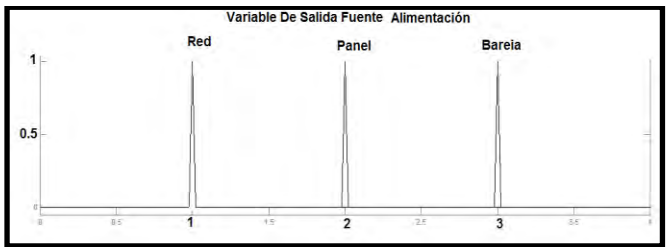


Figura 6. Funciones de membresía para la variable de salida fuente de alimentación.

Base de Reglas

Una vez definida nuestra base de datos el paso a seguir es generar la base de reglas para el controlador difuso. Esta base de reglas fue generada a partir del conocimiento que se tiene con respecto al inversor y comportamiento de las fuentes de alimentación. La base de reglas obtenida la encontramos en la Tabla 1.

Tabla 1. Base de reglas del controlador difuso.

	DO	**DNU**	**DSO**
CB	Red	Red	Panel
CM	Batería	Batería	Panel
CA	Batería	Batería	Panel

Diseño del Inversor

Modulación por Ancho de Pulso Optimizada

- Método Directo

Este es un método que se clasifica dentro de la modulación PWM optimizada. Este método se denomina directo, ya que no utiliza la señal portadora para la obtención de la onda PWM de salida. Este método consiste en igualar la energía de la señal que se quiere con la señal modulada. La señal sinusoidal deseada está representada por:

$$U = V_M \sin \omega t \, . \tag{9}$$

Donde: U = Voltaje de salida deseado.
Vm = Valor máximo (amplitud).
ω = Frecuencia angular.

La energía de la señal en un semiperiodo está dada por su integral y el semiperiodo está definido entre (0 y $\frac{\pi}{\omega}$). Por lo tanto la energía de la señal que se quiere está dada por:

$$A_{seno} = \int_0^{\pi/\omega} V_m \sin \omega t \; dt \; = -\frac{V_m}{\omega} \cos \omega t \begin{Bmatrix} \pi/\omega \\ 0 \end{Bmatrix} \tag{10}$$

De la ecuación 10 se obtiene la energía correspondiente al área del medio ciclo de la señal sinusoidal que es la misma energía que se desea en la señal PWM. Esta área la podemos dividir en intervalos de tiempos regulares (*np*) como se muestra a continuación.

$$\left.\begin{aligned} t_0 &= 0 \\ t_1 &= \frac{\pi}{n_p \omega} \\ t_2 &= \frac{2\pi}{n_p \omega} \\ t_n &= \frac{n_p \pi}{n_p \omega} = \frac{\pi}{\omega} \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

$$t_i = \frac{i\pi}{n_p \omega} \qquad siendo \; i = 0,1,2,3, \ldots . n \; ; y \; t \; define \; los \; intervalos \; de \; tiempo.$$

Como el medio ciclo de la señal fue dividido en *n* intervalos, es necesario hallar la energía de cada uno de estos intervalos. Esto lo hacemos haciendo uso de la ecuación 12.

$$A_i = \int_{t_{i-1}}^{t_i} V_m \sin \omega t \; dt = -\frac{V_m}{\omega} \cos \omega t \quad \begin{matrix} t_i \\ t_{i-1} \end{matrix} = -\frac{V_m}{\omega} \{\cos \pi - \cos 0\}$$

$$A_i = -\frac{V_m}{\omega} [\cos \omega t_{i-1} \; \cos \omega t_i] \tag{12}$$

Una vez se logra conocer el área de cada uno de los intervalos podremos conocer al ancho de cada uno de los pulsos si conocemos la amplitud de la señal PWM, el ancho de los pulsos lo obtenemos a través de la ecuación 13.

$$tp_i = \frac{A_i}{V_m} \tag{13}$$

Para determinar las características de la señal PWM, se debe determinar la ubicación de cada uno de los pulsos obtenidos en el centro de sus respectivos intervalos, para esto se utiliza la ecuación 14.

$$PULSO_i = \left\{ \frac{t_{i-1}+t_i}{2} - \frac{tp_i}{2} \leq t \leq \frac{t_{i-1}+t_i}{2} + \frac{tp_i}{2} \right\} \quad (14)$$

Teniendo estos parámetros se procede a implementar el algoritmo de programación en el micro controlador.

Resultados

Controlador difuso simulado en Matlab

La herramienta de simulación Matlab en la toolbox fuzzy ofrece la opción de simular el controlador por el método *Mandani* (Fig. 7) o por el método *Takagi-Sugeno-Kang* (TSK). Para este caso se hizo la simulación por los dos métodos comparando su respuesta y posteriormente escogiendo el método implementado en el sistema.

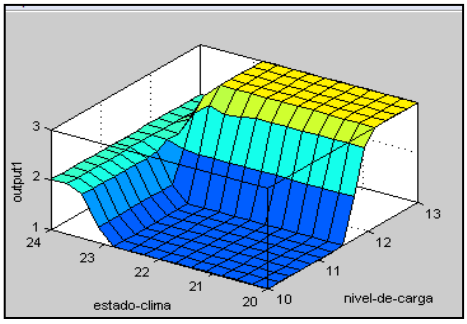


Figura 7. Respuesta del controlador con la técnica Mandani.

Los resultados obtenidos con las dos técnicas se muestran en la Tabla 2, la entrada al controlador fue la misma para ambos casos. El método que se desarrolló en este trabajo para la implementación del controlador es el de Mandani, ya que este método nos proporciona una forma genérica para su diseño y no se tiene que buscar una ecuación a la salida que se adapte a la respuesta que se requiera.

Implementación del Controlador

Una vez definido el mecanismo de inferencia (máximo- mínimo). El enfoque que se trabajó fue FITA (First Aggregate, Theninference) ya que este ofrece un menor costo computacional. Y el método de desfuzzyficacion empleado fue *Centro de gravedad*, debido a que de esta forma se obtiene a la salida el valor más representativo y sin discontinuidades. Una vez definidos los parámetros se procedió a trabajar en el proceso del controlador.

Tabla 2. Resultados de simulación y comparación de técnicas.

Entrada al controlador		Respuesta con Mandani	Respuesta con TSK
Nivel de carga	11.5	1	1
Estado del clima	22		
Nivel de carga	12	2.87	2.87
Estado del clima	22		
Nivel de carga	12.5	3	3
Estado del clima	20		
Nivel de carga	13	3	3
Estado del clima	20		
Nivel de carga	13	2	2
Estado del clima	23.5		
Nivel de carga	11.7	3	3
Estado del clima	22.5		

El controlador se implemento en un microcontrolador de gama alta (PIC 18F4550)**.** Se utilizó el software de programación *CCS*. Como entradas se tomaron las medidas obtenidas del panel y batería, estas medidas se hicieron a través de un divisor de tensión y datos medidos suministrados por los optoacopladores como se muestra en la Fig. 8. Este divisor se ha calibrado de tal manera que cuando el voltaje du sus terminales sea el máximo en el medio obtengamos el voltaje limite con el cual la salida del optoacoplador responde a variaciones en la entrada. Como podemos ver los optoacopladores *U4*, *U5* y *U6* cumplen el objetivo de proteger y aislar el circuito de control de la etapa de potencia conformada por los dispositivos de conmutación (relés) los cuales reflejan en la salida la decisión del controlador. Los relés en su estado normalmente cerrados reflejan en la salida la entrada de la red eléctrica. Cuando el controlador tome como decisión el suministro de energía la red eléctrica convencional, este tendrá que informar al inversor para que deshabilité los MOSFET.

En la Fig. 8 se puede observar el circuito diseñado y en el software de simulación electrónica Proteus. El circuito implementado físicamente, posee un sistema para la visualización y supervisión del sistema.

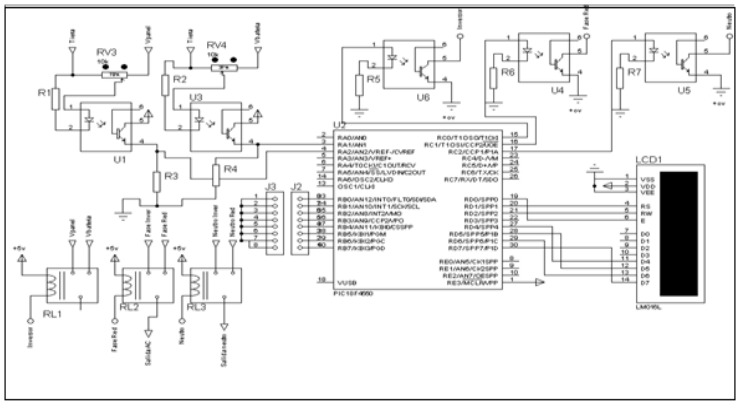


Figura 8. Diagrama esquemático para el circuito del controlador

Inversor

En el inversor desarrollado bajo la técnica de modulación *PWM* optimizada empleando el método directo, se diseñó una modulación con *np* = 12 consiguiendo buenos resultados en cuanto a disminución de.

En la Fig. 9 se observa la simulación de la señal PWM optimizada con np = 12. Esta simulación fue desarrollada en el software de simulación electrónica *Proteus*. Una vez realizado el diseño, se procedió a la implementación física del circuito, obteniendo como resultado una salida como la que se muestra en la Fig. 10.

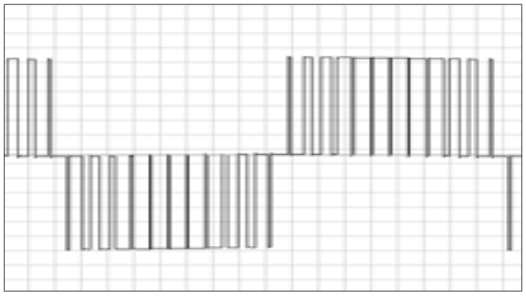


Figura 9. Señal PWM optimizada con N_P =3.

Conclusiones

Se desarrolló el cálculo para un inversor con topología transformador de toma media para un *Np* = 1, *Np* = 3 y *Np* = 12, de los cuales se implementó con *Np* = 12. Debido a que el sistema con *Np* = 1 la señal tendría muchos armónicos, el diseño implementado fue el *Np* = 12, que sería el adecuado ya que este garantizaría mejores resultados en la disminución de armónicos. Para la implementación de este diseño se requieren de dispositivos optoacopladores de alta velocidad de respuesta, para evitar solapamientos en los pulsos de conmutación, para de esta forma garantizar un óptimo funcionamiento del inversor.

Figura 10. Salida del inversor con un Np=3.

Como dispositivos de conmutación se utilizaron *MOSFET* de canal *n* y de enriquecimiento, con un método de modulación directo optimizado obteniendo una señal a la salida de 110 V AC a 60 Hz para una entrada de 12 V DC.

Se debe recalcar la gran importancia que representa la lógica difusa y su principal aplicación en los sistemas de control difuso, ya que gracias a la flexibilidad que tienen de interpretar el razonamiento humano basado en reglas, permiten mejorar, solucionar y facilitar la forma de representación de modelos matemáticos más complejos.

En base a los resultados obtenidos, podemos concluir que la técnica de control difuso no solo es eficiente para sistemas no lineales y de difícil modelado matemático, también es eficiente para sistemas sencillos como el implementado en este trabajo, el cual tiene como salida una señal tipo *singleton*, presentando una gran fiabilidad y robustez.

Bibliografía

1. R.R. Yager y D.P. Filev. Essentials of fuzzy modeling and control. John Wiley, 1994.
2. L. Reznik. Fuzzy controllers. Newnes, 1998.
3. Electrónica industrial. Dispositivos y sistemas. Timothy J. Malony. Primera edición, 2006.
4. A. Pardo and J. Diaz. Aplicaciones de los convertidores de frecuencia. Estrategias PWM, 2004.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 77. Volumen 4(4), 8 páginas

CONTROL NO LINEAL BASADO EN PLANITUD DIFERENCIAL DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN MAGNÉTICA

(DIFFERENTIAL FLATNESS-BASED NONLINEAR CONTROL OF A MAGNETIC SUSPENSION SYSTEM)

Francisco Beltrán Carbajal[1], Benjamín Vázquez González[1], Zeferino Damián Noriega[1], Sergio Alejandro Villanueva Pruneda[1], Ernesto Montes Estrada[1]

Resumen

En este artículo se aborda el problema de control no lineal para tareas de seguimiento de trayectorias de referencia deseadas variantes en el tiempo para la posición de un objeto sólido en un sistema de suspensión magnética. Se propone un esquema de control, que aprovecha la propiedad estructural de la planitud diferencial que exhibe el sistema, como una alternativa de solución a este problema. En nuestro estudio consideramos un modelo matemático no lineal del sistema de suspensión magnética que incluye la dinámica del circuito electromagnético y como variable de control al voltaje aplicado en las terminales de dicho circuito. Además, este modelo matemático refleja la situación real de que la fuerza electromagnética no es infinita cuando la posición del objeto es igual con cero. Se incluyen algunos resultados en simulación para mostrar el desempeño eficaz y eficiente del esquema de control propuesto. Se presentan dos casos para tareas de seguimiento de trayectorias de referencia. El primero considera el problema de transferir el objeto desde una posición de equilibrio nominal deseada a otra. El segundo aborda el seguimiento de una trayectoria sinusoidal para la posición del objeto.

Palabras clave: Planitud Diferencial, Suspensión Magnética, Control No Lineal.

Abstract

This paper deals with the nonlinear control problem for time-varying desired position reference trajectory tracking tasks for a solid object in a magnetic suspension system. A control scheme based on the structural property of differential flatness exhibited by the system is proposed as alternative solution to this challenging problem. In our study, a nonlinear mathematical model of the magnetic suspension system is considered, which includes the electromagnetic circuit dynamics, and as control variable the voltage signal applied to the circuit terminals. In addition, the mathematical model covers the realistic situation that the electromagnetic force is not infinite when the object position is equal to zero. Some simulation results are provided to show the effective and efficient performance of the proposed control scheme. Two cases for reference trajectory tracking tasks are performed. The first one considers the rest-to-rest position transfer problem of the object from a nominal position to another. The second case focuses on the sinusoidal position trajectory tracking problem.

Keywords: Differential Flatness, Magnetic Suspension, Nonlinear Control.

Introducción

El control automático eficiente de sistemas de suspensión magnética para su uso en el diseño de sistemas mecatrónicos ha ganado en la actualidad gran interés por la comunidad científica internacional, debido a la enorme diversidad de aplicaciones prácticas que este tipo de sistemas ofrecen para mejorar los índices de desempeño relacionados con eficiencia energética, tiempo de vida útil, costos de mantenimiento, precisión, sustentabilidad, confort y calidad en el producto terminado.

[1] Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. Av San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200. Azcapotzalco D.F., México. Tel. 5318-9068. E-mails: zdn@correo.azc.uam.mx, savp@correo.azc.uam.mx, eme@correo.azc.uam.mx

Algunas de sus aplicaciones se pueden encontrar en chumaceras para maquinaria rotatoria, sistemas de transporte terrestre, suspensiones de vehículos, sistemas de aislamiento de vibración, máquinas herramientas automáticas y muchos otros sistemas de ingeniería, ver por ejemplo, [5] y [8] (y las referencias ahí incluidas).

Actualmente, existen varias propuestas de esquemas de control para sistemas de suspensión magnética, las cuales abordan principalmente el problema de regulación de posición alrededor de un punto de operación nominal constante. Generalmente este tipo de desarrollos consideran en el proceso de diseño modelos matemáticos no lineales de un grado de libertad y/o modelos matemáticos tangentes que describen dinámicas aproximadas del sistema de suspensión alrededor de un punto ó trayectoria de operación de interés. Ver, por ejemplo [5] y [9].

En este artículo se aborda el problema de control no lineal para tareas de seguimiento de trayectorias de referencia deseadas variantes en el tiempo para la posición de un objeto sólido en un sistema de suspensión magnética. Se propone un esquema de control, que aprovecha la propiedad estructural de la planitud diferencial que exhibe el sistema, como una alternativa de solución a este problema. Metodologías de diseño de esquemas de control activo de vibraciones para dispositivos de absorción de vibraciones y sistemas de suspensión de vehículos electromagnéticas e hidráulicas, basadas en planitud diferencial y en técnicas de Control Robusto de Modos Deslizantes y Control Proporcional-Integral Generalizado, son propuestas en [1]-[4].

En nuestro estudio consideramos un modelo matemático no lineal del sistema de suspensión magnética que incluye la dinámica del circuito electromagnético y como variable de control al voltaje aplicado en las terminales de dicho circuito. Además, este modelo matemático refleja la situación real de que la fuerza electromagnética no es infinita cuando la posición del objeto es igual con cero. Se incluyen algunos resultados en simulación para mostrar el desempeño eficaz y eficiente del esquema de control propuesto. Se presentan dos casos para tareas de seguimiento de trayectorias de referencia. El primero considera el problema de transferir el objeto desde una posición de equilibrio nominal deseada a otra. El segundo aborda el seguimiento de una trayectoria sinusoidal para la posición del objeto.

Sistema de suspensión magnética

Considere el diagrama esquemático del sistema de levitación magnética que se muestra en la Fig. 1, el cual permite mantener suspendida una pequeña esfera de material ferromagnético de masa m, mediante la aplicación de una fuerza de atracción electromagnética f_m inducida por la corriente eléctrica i. Además, $y=x$ es la posición de la esfera, la cual es medida desde el electromagneto, y $v(t)$ es el voltaje aplicado al circuito, el cual actúa como variable de control. Aquí, L y R es la inductancia y resistencia del electromagneto, respectivamente. El modelo matemático no lineal que describe la dinámica de este sistema inestable está descrito por las siguientes ecuaciones diferenciales [5]:

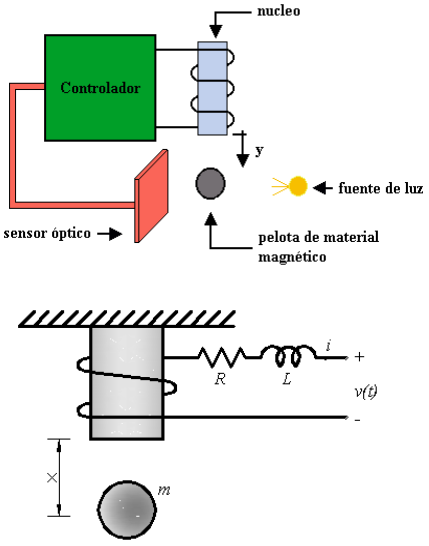


Figura 1. Diagrama esquemático de un sistema de levitación magnética.

$$\begin{aligned} L\frac{di}{dt} &= -Ri + v(t) \\ m\frac{d^2x}{dt^2} &= mg - f_m \\ y &= x \end{aligned} \tag{1}$$

La fuerza electromagnética f_m está dada por,

$$f_m = \frac{K_m i^2}{2(x+a)^2}, \quad x > 0$$

donde K_m es la constante de fuerza electromagnética y a es una constante que se determina experimentalmente, la cual se incluye para modelar la situación real de que la fuerza electromagnética no es infinita cuando $x=0$.

Definiendo como variables de estado a la posición y velocidad de la esfera y a la corriente eléctrica:

$$x_1 = x,\ x_2 = \dot{x},\ x_3 = i$$

obtenemos la siguiente representación del sistema en espacio de estados:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= g - \frac{K_m x_3^2}{2m(x_1+a)^2} \\ \dot{x}_3 &= -\frac{R}{L}x_3 + \frac{1}{L}v \\ y &= x_1 \end{aligned} \tag{2}$$

Los puntos de equilibrio del sistema de levitación magnética, expresados en términos de alguna posición X deseada para la esfera, están descritos por,

$$\begin{aligned} \bar{x}_1 &= X \\ \bar{x}_2 &= 0 \\ \bar{x}_3 &= \sqrt{\frac{2mg}{K_m}}(X+a) \\ \bar{u} &= R\sqrt{\frac{2mg}{K_m}}(X+a) \end{aligned} \tag{3}$$

Control basado en planitud diferencial

El sistema de levitación magnética es diferencialmente plano, con la *salida plana* dada por la posición de la esfera $y = x_1$. Entonces, todas las variables de estado y la entrada de control se pueden expresar en términos de la salida plana y, y de un número finito de sus derivadas, ver [11]. Para esto, calculamos las derivadas con respecto del tiempo hasta de tercer orden de la salida plana $y = x_1$:

$$\begin{aligned} y &= x_1 \\ \dot{y} &= x_2 \\ \ddot{y} &= g - \frac{K_m x_3^2}{2m(x_1+a)^2} \\ y^{(3)} &= \frac{K_m R}{mL(x_1+a)^2}x_3^2 + \frac{K_m}{m(x_1+a)^3}x_2 x_3^2 - \frac{K_m}{mL(x_1+a)^2}x_3 v \end{aligned} \tag{4}$$

De esta expresión se obtiene la siguiente parametrización diferencial del sistema,

$$
\begin{aligned}
x_1 &= y \\
x_2 &= \dot{y} \\
x_3 &= \sqrt{\frac{2m}{K_m}(g-\dot{y})}(y+a) \\
v &= \sqrt{\frac{m}{2K_m(g-\dot{y})}}\left[L(y+a)\left(\frac{2R}{L}+\frac{2\dot{y}}{y+a}\right)(g-\dot{y})-L(y+a)y^{(3)}\right]
\end{aligned}
\tag{5}
$$

Por consiguiente, la salida plana *y* satisface la siguiente ecuación diferencial entrada-salida:

$$y^{(3)} = bv + \xi(t) \tag{6}$$

donde

$$\xi(t) = 2\left(\frac{R}{L}+\frac{\dot{y}}{y+a}\right)(g-\ddot{y})$$

y

$$b = -\frac{1}{L(y+a)}\sqrt{\frac{2K_m}{m}(g-\ddot{y})}$$

A partir de esta expresión, proponemos el siguiente controlador basado en planitud diferencial, para tareas de seguimiento de trayectorias de referencia deseada para la posición de la esfera $y^*(t)$:

$$v = \frac{1}{b}[u-\xi(t)] \tag{7}$$

con

$$u = \left(y^*\right)^{(3)}(t) - \alpha_2\left[\ddot{y}-\ddot{y}^*(t)\right] - \alpha_1\left[\dot{y}-\dot{y}^*(t)\right] - \alpha_0\left[y-y^*(t)\right]$$

El uso de este controlador conduce a la siguiente dinámica en lazo cerrado para el error de seguimiento $e = y - y^*(t)$:

$$e^{(3)} + \alpha_2\ddot{e} + \alpha_1\dot{e} + \alpha_0 e = 0 \tag{8}$$

Entonces, seleccionado las ganancias del controlador α_i, $i=0,\ldots,3$ para que el polinomio característico para que sea *Hurwitz*, garantizamos que la dinámica del error de seguimiento sea globalmente asintóticamente estable.

Resultados en simulación

Algunas simulaciones numéricas fueron realizadas en un sistema de levitación magnética caracterizado por el conjunto de parámetros reales de la Tabla 1. Ver [5] y [10].

Tabla 1: Parámetros del Sistema de Levitación Magnética

m = 0.068 kg
R = 11 Ω
a = 11.8×10^{-3} m
L = 0.4125 H
$K_m = 3.9374\times10^{-4}$ Nm^2/A

Los parámetros de diseño del controlador fueron seleccionados para tener el siguiente polinomio característico de tercer grado para la dinámica del error de seguimiento en lazo cerrado:

$$p_c(s) = (s+p_1)\left(s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2\right)$$

con $p_1 = \omega_n = 20$ rad/s y $\zeta = 0.7071$.

En las Figs. 2 a 4 se muestra el desempeño eficiente y eficaz del controlador basado en planitud diferencial para el seguimiento de una trayectoria de referencia que permite mantener suspendida la esfera alrededor de la posición de equilibrio $\bar{y}_1$ para $t \leq T_1$, y posteriormente transferir de manera suave la esfera a la posición de equilibrio $\bar{y}_2$, para $t \geq T_2$. Esta trayectoria de referencia está descrita por:

$$y^*(t) = \begin{cases} \bar{y}_1 & para\ 0 \leq t < T_1 \\ \bar{y}_1 + (\bar{y}_2 - \bar{y}_1)\psi(t, T_1, T_2) & para\ T_1 \leq t \leq T_2 \\ \bar{y}_2 & para\ t > T_2 \end{cases} \tag{9}$$

donde $\bar{y}_1 = 0.01\ m$ y $\bar{y}_2 = 0.005\ m$, $T_1 = 2\ s$, $T_2 = 4s$, $\phi(t, T_1, T_2) = 0$ es un polinomio de interpolación de Bézier, con $\phi(t, T_1, T_2) = 0$ y $\phi(T_2, T_1, T_2) = 1$, dado por:

$$\psi(t) = \left(\frac{t - T_1}{T_2 - T_1}\right)^5 \left[r_1 - r_2\left(\frac{t - T_1}{T_2 - T_1}\right) + r_3\left(\frac{t - T_1}{T_2 - T_1}\right)^2 - \ldots - r_6\left(\frac{t - T_1}{T_2 - T_1}\right)^5 \right] \tag{10}$$

con $r_1 = 252$, $r_2 = 1050$, $r_3 = 1800$, $r_4 = 1575$, $r_5 = 700$, $r_6 = 126$.

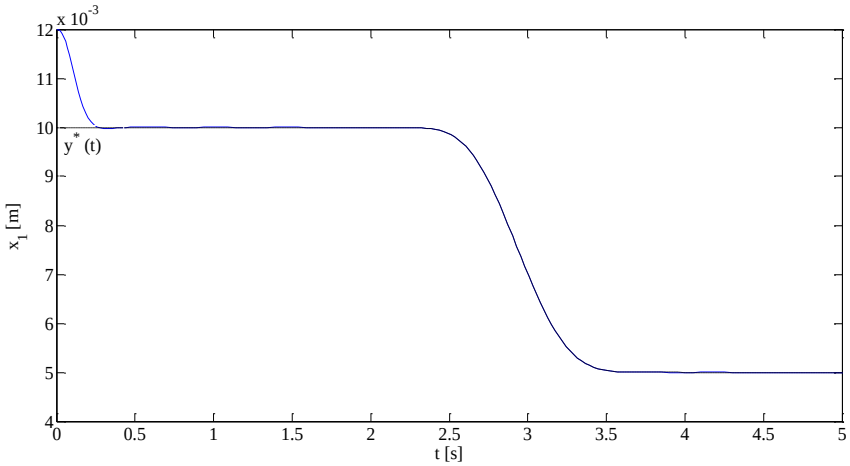


Figura 2. Respuesta en lazo cerrado de la posición de la esfera para la trayectoria (9)

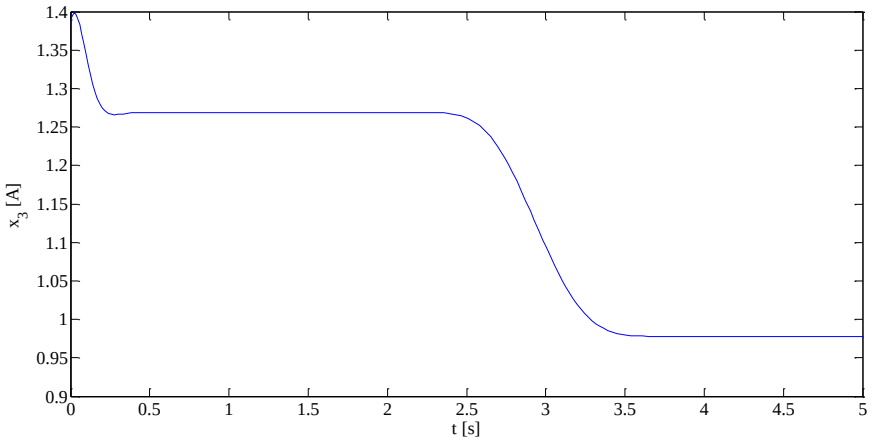


Figura 3: Respuesta en lazo cerrado de la corriente eléctrica para la trayectoria (9).

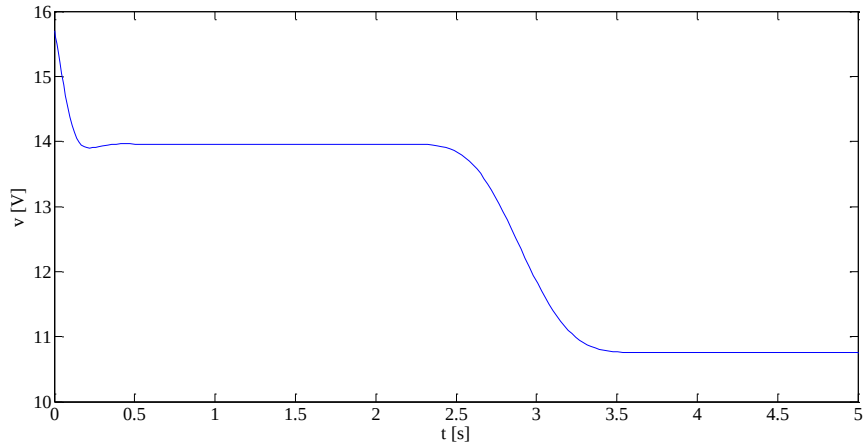


Figura 4: Respuesta en lazo cerrado del voltaje de control para la trayectoria (9).

En las Figs. 5 a 7 se muestra el desempeño del controlador, para el seguimiento de la trayectoria de referencia sinusoidal descrita por

$$y^*(t) = \bar{y} + A\sin(\omega t) \tag{11}$$

donde $\bar{y}_1 = 0.01$ *m*, $A = 0.005$ m y $\omega = 5$ rad/s. De manera similar, podemos observar el seguimiento efectivo de esta trayectoria de referencia variante en el tiempo para la posición de la esfera.

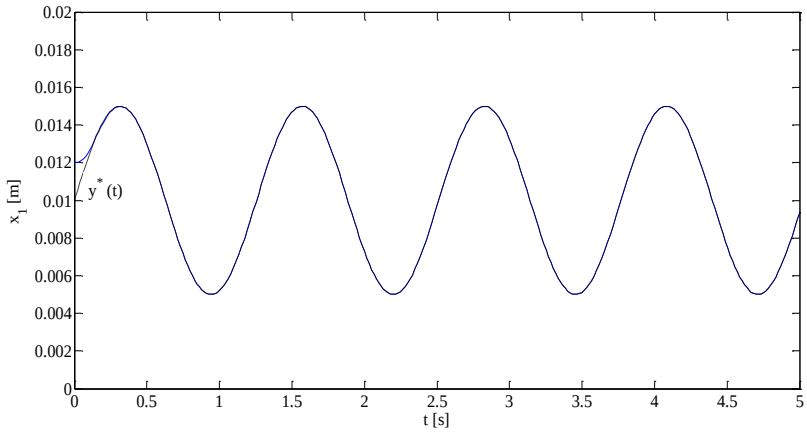


Figura 5: Respuesta en lazo cerrado de la posición de la esfera para la trayectoria (11).

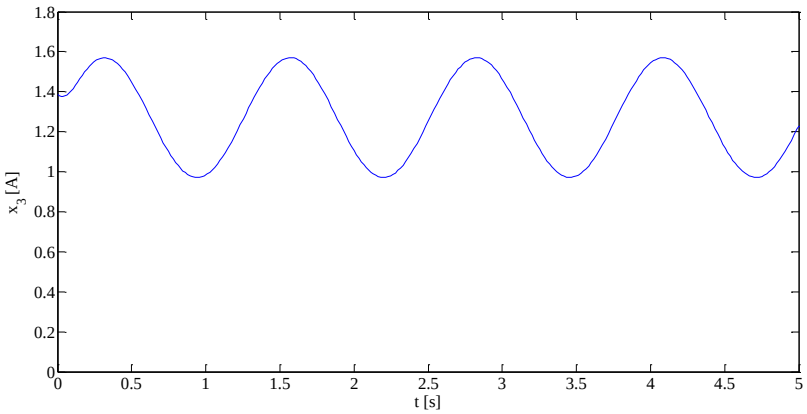


Figura 6: Respuesta en lazo cerrado de la corriente eléctrica para la trayectoria (11).

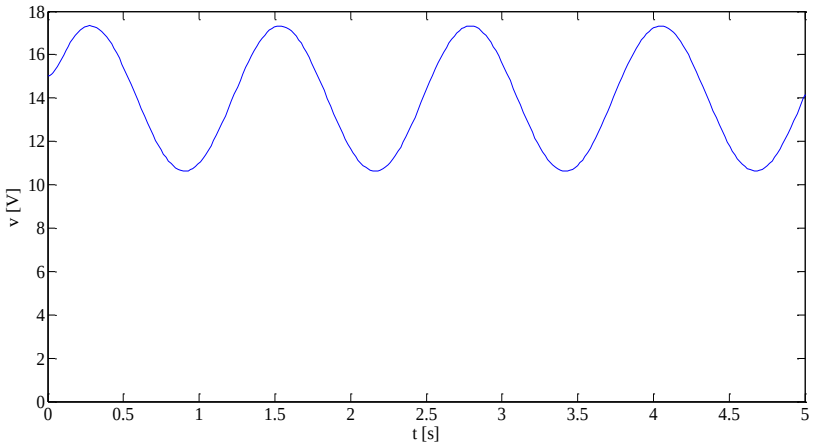


Figura 7: Respuesta en lazo cerrado del voltaje de control para la trayectoria (11).

Conclusiones

En este artículo hemos propuesto una alternativa de solución al problema de control no lineal de un sistema de suspensión magnética tradicional. Nuestra propuesta se centró en explotar de manera importante la propiedad estructural de la planitud diferencial que exhibe el sistema, en el diseño de un esquema de control, libre de singularidades, que permite realizar tareas de seguimiento de trayectorias de referencia deseadas variantes en el tiempo para la posición del objeto sólido de dicho sistema de levitación. En nuestro análisis incorporamos la dinámica del circuito electromagnético, y como variable de control al voltaje aplicado en las terminales de dicho circuito.

Los resultados que se obtuvieron mediante simulación numérica muestran un desempeño eficiente del controlador propuesto, lo que permite continuar con el proceso de diseño de un sistema embebido de suspensión magnética para el desarrollo de sistemas Mecatrónicos de interés en aplicaciones académicas y, posiblemente, industriales. Futuros trabajos estarán orientados en la validación experimental de nuestra propuesta, así como en el desarrollo de filtros para derivación de señales y en el análisis de la robustez del controlador propuesto, con respecto a incertidumbres paramétricas, dinámicas no modeladas e influencias externas no conocidas.

Referencias

[1] Beltrán-Carbajal, F. Silva-Navarro, G. Vázquez-González B., Chávez-Conde, E, "Design of Active Vibration Absorbers Using On-line Estimation of Parameters and Signals", in *Vibration Analysis and Control. New Trends and Developments*, F. Beltrán-Carbajal (Ed.), InTech, Croatia, ISBN: 978-953-307-433-7 (to appear in August 2011)

[2] Beltrán Carbajal, F. Chávez-Conde, E. Silva-Navarro, G. Vázquez-González, B. and Favela-Contreras, A. "Control of Nonlinear Active Vehicle Suspension Systems Using Disturbance Observers", in *Vibration Analysis and Control. New Trends and Developments*, F. Beltrán-Carbajal (Ed.), InTech, Croatia, ISBN: 978-953-307-433-7 (to appear in August 2011).

[3] Beltrán-Carbajal, F. Silva-Navarro, G. Blanco-Ortega, A. Chávez-Conde, E., "Active Vibration Control for a Nonlinear Mechanical System Using On-line Algebraic Identification", in *Vibration Control*, Mickaël Lallart (Ed.), Sciyo, Croatia, 2010, ISBN: 978-953-307-117-6.

[4] Beltrán-Carbajal, F. Silva-Navarro, G. Sira-Ramírez, H and A. Blanco-Ortega, "Active Vibration Control Using On-line Algebraic Identification and Sliding Modes", *Computación y Sistemas*, Vol. 13(3), pp. 313-330, 2010.

[5] Yetendje, A. Seron, M. De Doná, J. and Martínez, J. J. "Sensor fault-tolerant control of a magnetic levitation system", *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, Vol. 20, pp. 2108-2121, 2010.

[6] ElSinawi, A.H. and Emam, S. "Dual LQG-PID Control of a Highly Nonlinear Magnetic Levitation System", *4th International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization*, pp. 1-4, Kuala Lumpur, Malaysia, April 19-21, 2011.

[7] Bonivento, C. Gentili, L. and Marconi, L. "Balanced Robust Regulation of a Magnetic Levitation System", *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 13(6), pp. 1036-1044, 2005.

[8] Feemster, M. G. Fang F. and D. M. Dawson, "Disturbance Rejection for a Magnetic Levitation System", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol. 11(6), pp. 709-717, 2006.
[9] Suryawan, F. De Doná, J and Seron, M "Methods for trajectory generation in a magnetic-levitation system under constraints", *18th Mediterranean Conference on Control & Automation*, pp. 945-950, Marrakech, Morocco, June 23-25, 2010.
[10] Quanser Inc. *Magnetic Levitation Plant Manual*. Markham: Ontario, Canada, 2006.
[11] Fliess, M. Lévine, J. Martin P. and Rouchon, P "Flatness and defect of nonlinear systems: Introductory theory and examples", *International Journal of Control*, Vol. 61(6), pp. 1327-1361, 1993.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 100. Volumen 4(4), 6 páginas.

KAD 1.0 - BRAZO ROBÓTICO INDUSTRIAL DE 5 EJES. Aplicación al corte de plasma

Martín Vega Terrazas[1], Axell García Ramírez[1], Aldo Daniel Ramírez Ollervides[1].

Resumen

Los robots industriales son herramientas poderosas y flexibles aplicadas en diferentes áreas de producción y manufactura dentro de una compañía. Se caracterizan principalmente por su facilidad de movimiento, precisión y área específica de trabajo. Sin embargo, la inversión en equipamiento, instalación, capacitación de personal, soporte técnico, entre otros, representan un obstáculo importante en el crecimiento de muchas empresas que no cuentan con los recurso necesario para invertir en estos equipos. Es por esto que el **KAD 1.0** es una alternativa que estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica del ITQ presentan al sector industrial, principalmente a las empresas metalmecánicas. La idea fundamental es que más empresas tengan a su alcance máquinas automatizada a un costo competitivo y acorde a los requerimientos propios de cada empresa, sin descuidar su calidad y funcionalidad. De igual forma, el mantenimiento, capacitación y soporte técnico disminuirán notablemente el costo gracias a la generación de un recurso tecnológico en el país. El presente proyecto del *brazo robótico orientado al corte por plasma* cuenta con cinco grados de libertad, programación automática y semiautomática e interfaz de programación de fácil manejo. El efector final es un cortador de plasma y su alcance horizontal es de 0.83 metros.
Palabras clave: Robots industriales, KAD 1.0, corte con plasma.

Abstract

Industrial robots are versatile and powerful tools applied in different areas of production and manufacturing within a company. Precision, workspace, and easy handling are some of their features. However, the investment in equipment, installation, qualified personnel and technical support represent a main obstacle in the growing of many companies that don't have the financial resources. For this reason, KAD 1.0 is an alternative for the industry, created by mechatronic engineering students from the ITQ. The main idea is to put at the reach of the companies, automated machines with a competitive cost and with features that satisfy their specific requirements, without forgetting quality and functionality; in the same way, the cost of maintenance, training and technical support will decrease due to the generation of technology in the country. The present project, the robotic arm -oriented to the plasma cutting process, counts with 5 degrees of freedom (DOF). It can be controlled with a teach pendant and with a PC, by the way, the user interface is easy to handle. The end effector is a plasma torch and the robotic arm has a horizontal reach of 0.830 meters that result in a wide workspace. These features benefit the metalworking and the mechanical industry.
Keywords: Industrial Robots, KAD 1.0, Plasma Cutting.

Introducción

Un brazo manipulador es un robot industrial que consiste de dos unidades: el brazo robótico (parte mecánica) y el sistema de control (Software y hardware). Los brazos cuentan con determinado número de ejes, lo cual les permite moverse a cualquier punto dentro de su área específica de trabajo. El movimiento es generado por motores eléctricos que se encuentran dentro del brazo en cierta posición. El sistema de control es una computadora, la cual indica y precisa el movimiento del brazo controlando ciertos parámetros eléctricos en los motores.

La definición que da la *International Standards Organization (ISO)* a los robots industriales es que son *Manipuladores programables multipropósito, controlados automáticamente, reprogramables y con tres o más grados de libertad.*

[1] Instituto Tecnológico de Querétaro. Av. Tecnológico s/No. esq. General Mariano Escobedo. Tel. 01-442-227-4400.
E-mail: mvega799@yahoo.com.mx

Los brazos robóticos tienen grandes capacidades de trabajo, oscilando entre 1 y 300 kg dependiendo del mismo y de su actividad; además, cuentan con precisión en el orden de los milímetros e inferiores. Comúnmente estos robots son multifuncionales, lo que significa que son fáciles de reprogramar para que puedan realizar un sin número de trabajos. Sin embargo, algunas veces son desarrollados para realizar tareas específicas tales como pintar, soldar, paletizar, manipular materiales, etc.

Los sistemas de cinco ejes permiten al robot cubrir una extensa área de trabajo y además permite que el efector final del brazo sea manipulado en casi cualquier posición. Estos ejes también suelen ser conocidos como grados de libertad DOF (por sus siglas en inglés). Suelen ser representados por números comenzando desde la base del brazo hasta el efector final, o en algunas ocasiones por letras. Los ejes son frenados en casi todos los tipos existentes de robots. Esto significa que cuando la fuente de alimentación se apaga, el robot mantendrá su posición. Además si una parada de emergencia es ocasionada en alguna parte del sistema, los frenos inmediatamente suspenden el movimiento. La computadora del robot conoce la posición del brazo así como cada uno de los ejes, por lo que usa esta información para controlar el movimiento de los motores.

Antecedentes

Los robots de corte

La industria de la transformación se moderniza día a día y agilizan sus procesos de producción con el uso de la robótica. Una de las tecnologías que más está favoreciendo el incremento de la calidad y la seguridad en la producción es la que emplean los robots de corte por láser, por ultrasonidos, con agua a presión pero, ¿cómo trabajan y qué ventajas aportan?

Los robots de corte son equipos que se adaptan a líneas de producción o ensamblaje de multitud de factorías con el fin de cumplir la función para la que han nacido: cortar cientos de materiales tales como cuero, cartón, espuma, madera, fibra de vidrio, plástico, acero, metales, alimentos, etc.

En la industria auxiliar del automóvil, por ejemplo, al momento de producir los múltiples componentes que se necesitan, está a la orden del día disponer de unidades robotizadas para efectuar las operaciones de corte. También en las plantas del sector de la alimentación, donde piezas de carne y embutidos son cortados gracias a estas máquinas que funcionan solas.

Los robots de corte han sustituido a las máquinas de troquelado y ejes cartesianos y a la mayoría de personal que manipula esta maquinaria. Las ventajas para la industria son, entre otras:

- Polivalencia,
- Disponibilidad las 24 horas del día,
- Pueden realizar múltiples formatos de corte sin necesidad de hacer cambios en la herramienta o en el robot,
- Precisión,
- Bajo costo de mantenimiento,
- Reducción de espacios,
- Etcétera

Fundamento del corte con plasma

Existen diferentes técnicas o procesos utilizados para realizar la tarea de corte en materiales difíciles de cortar, entre éstas técnicas se encuentra el oxicorte y el corte por plasma. Mientras que este último se produce como consecuencia de la combustión del acero previamente calentado en una atmósfera de oxígeno puro, el corte con plasma se realiza a muy altas temperaturas que se generan dentro del plasma, que llegan a alcanzar hasta 30,000 °C, que funden casi instantáneamente y llegan a volatizar el material. El plasma se produce cuando un chorro de gas inicialmente frío se calienta con un arco eléctrico y se le hace pasar por un orificio estrecho para reducir su sección. Se forma de esta manera un conductor eléctrico gaseoso de alta densidad de energía, formado por una mezcla de electrones libres, iones positivos, átomos disociados y moléculas del gas, denominado *plasma.*

Este chorro de gas-plasma es conducido eléctricamente desde el cátodo de tungsteno, wolframio o hafnio (electrodo) hasta la pieza a cortar, conectada eléctricamente para que sea el ánodo. Como la pieza está fría, parte del gas ionizado se desioniza y transfiere su energía en forma de calor al material a cortar. El corte se produce como consecuencia de la alta aportación energética confinada en una reducida sección a través de un chorro de gas-plasma a alta velocidad, aproximadamente la del sonido, que al chocar con la pieza a cortar expulsa rápidamente el material fundido y volatilizado produciendo un corte limpio. Las variables del proceso son:

- Gas o gases empleados,

- Caudal y presión de los mismos,
- Velocidad del corte,
- Energía empleada o intensidad del arco.

Respecto a los gases utilizados, el nitrógeno es el que mejor se comporta respecto a la calidad de corte. La energía empleada y la velocidad son las dos variables que hay que ajustar para cada material y espesor. En los equipos modernos, la presión de los gases y la distancia de la boquilla a la pieza, pueden mantenerse constantes. Se puede controlar la temperatura en el plasma, pues ésta en función del producto V x I (Tensión x Intensidad). Como la tensión del arco varía con el mayor o menor estrangulamiento de la columna, con aumento de la presión del caudal de los dos gases aportados, es posible conseguir temperaturas elevadas con caudales moderados modificando los factores antes descritos.

Otra característica de este arco-plasma es la estabilidad direccional de la columna, que se mantiene sin cambiar de dirección frente a corrientes de aire, campos magnéticos, etc. debido a que el haz de gas sale de la boquilla a velocidades sónicas que tienden a mantener la columna de plasma sin apenas divergencia, hasta que llega a la pieza a cortar.

Planteamiento del problema

El proceso de corte por plasma y soldadura en el sector industrial es ineficiente cuando lo realiza el ser humano, el cual refleja su desempeño en el alto consumo de recursos, baja repetibilidad y precisión dudosa. Por otro lado, la exposición frecuente a estos procesos deteriora con el paso del tiempo su salud, provocándole a su empresa gastos elevados.

Objetivo general: construir un brazo robótico industrial de cinco grados de libertad multifuncional competitivo a nivel internacional.

Fig.1. KAD 1.0

Descripción del proyecto

De acuerdo a las características de los robots industriales comercializados en México, se propuso el alcance horizontal del brazo de 0.830 m. Posteriormente se estableció la medida de cada uno de los eslabones y los tipos de articulaciones. En base a la estructura mecánica propuesta se determinaron los torques necesarios de cada articulación para después asignar los actuadores que se adaptaron a sus necesidades. Como actuadores se seleccionarán servomotores, debido al tamaño, torque, precisión y control.

El brazo puede operar a través de la computadora y un *teach pendant*. Para la manipulación del brazo se usaron redes de microcontroladores que controlan los servomotores. Cuando el brazo funciona a través del *teach pendant*, se mueve a través de un teclado matricial conectado a la red de microcontroladores. En este modo se le permite al usuario almacenar hasta 100 puntos, para después generar una rutina.

En modo de operación vía PC, se establece comunicación entre ésta y el microcontrolador maestro mediante el puerto serial. El programa realizado cuenta con varias funciones, las cuáles le permiten al usuario

mover el brazo, guardar puntos, leer los puntos almacenados mediante el *teach pendant* y finalmente realizar una rutina para el brazo, de tal forma que pueda trabajar en modo automático.

Diseño mecánico

Se desea trabajar en planos paralelos a los planos XY, XZ, y YZ de un sistema orto normal dextrógiro de tal manera que el eje del efector final pueda estar perpendicular a cada uno de los planos correspondientes a la pieza de trabajo. Para esto se propone el uso de 5 eslabones y 5 articulaciones rotacionales, que estarán dispuestas como se muestra en la Fig. 2:

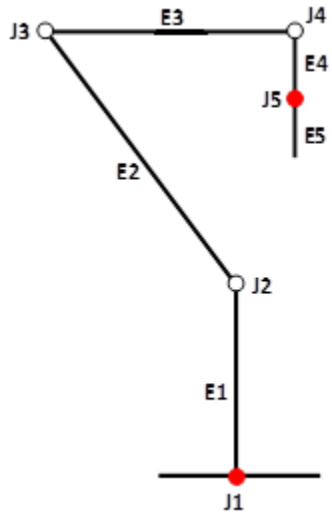


Figura 1. Diseño del Brazo Industrial

Las articulaciones J2, J3 y J4 tendrán su eje de rotación perpendicular al eje del eslabón que moverán, mientras que J1 y J5 tendrán su eje de rotación paralelo al eje del eslabón que moverán.

Tabla 1 Ángulo de rotación de las articulaciones.

Articulación	Angulo de rotación	Torque
J1	180°	
J2	120°	1047.025 Nm
J3	120°	753.033 Nm
J4	180°	
J5	180°	

Tabla 2. Masa de los eslabones en movimiento del robot

Eslabones	Volumen	Masa acero* r = 7850 kg/m^3
E2	6.62 x 10^{-3} m^3	51.967 kg
E3	11.12 x 10^{-3} m^3	87.401 kg
E4	1.42 x 10^{-3} m^3	1.1147 kg
Peso aproximado motores: 25 kg Efector final: 4 kg		
	Total	169.8 kg

*Acero Maquinaria AISI 1045

Sistema de control:

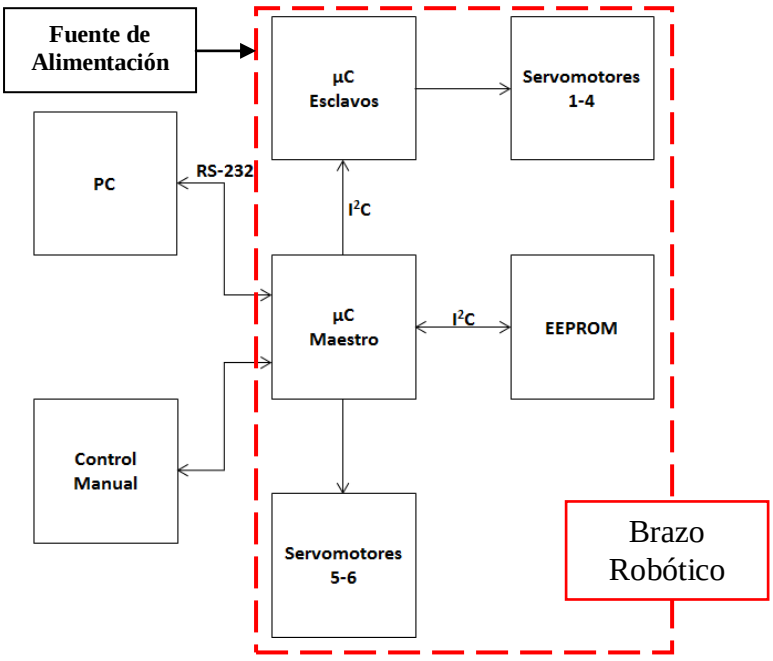


Figura 3. Diagrama a bloques del sistema de control.

Modos de uso:

El brazo opera en dos modos diferentes, en modo manual y en modo PC, el modo de funcionamiento se selecciona desde el control manual. Primero se debe de seleccionar el modo y posteriormente se debe prender el control.

Modo Manual

En este modo de funcionamiento el brazo se moverá desde el control. El usuario puede almacenar puntos específicos para después ejecutar una rutina. Para evitar tener puntos no deseados en las rutinas, el usuario puede hacer uso de la función borrar memoria para borrar todos los puntos almacenados en la memoria.

Modo PC:

En modo PC el brazo se controla desde una PC mediante un puerto serial. Mediante la computadora podemos posicionar y asignarle distintos puntos de coordenadas al brazo robótico, de igual forma se pueden leer los puntos previamente almacenados en el robot y generar un programa para que el brazo simule de manera automática una rutina de acuerdo a lo especificado por el usuario.

Lugar de Trabajo

Instituto Tecnológico de Querétaro

Entregables

- Prototipo del brazo cortador con plasma de 5 grados de libertad.
- Software controlador del brazo.
- Manual del usuario en relación al software de control.
- Reporte técnico del brazo y del equipo de corte.
- Capacitación para el operador.

Resultados

- El prototipo de un brazo cortador con plasma que opera sobre geometrías en tres dimensiones y cumple con las especificaciones requeridas.

Impacto social

Aún cuando se conoce que en la actualidad existen proveedores de brazos robóticos que se pueden adaptar a la tarea a la cual se enfoca el proyecto (corte por plasma), es también conocido que los precios de éstos productos son elevados, sin mencionar que ninguno de éstos es fabricado y distribuido por alguna empresa mexicana. Es por eso que se pretende realizar un brazo robótico que sea de fácil manejo y accesible, pero que compita con los productos de mayor calidad y renombre en el mercado.

El brazo robótico cortador que se desarrolla en el ITQ, además de beneficiar en costo a muchas empresas, ofrecerá una serie de ventajas a todo aquel cliente que la use, ya que facilita la tarea de corte que realizan los operarios. En consecuencia se disminuirán los tiempos empleados para esta tarea, se aumentará la calidad del producto y la capacidad productiva.

La seguridad y salud del operario está antes que la producción y la maquinaria. La implementación en las fábricas y el uso del brazo industrial no será la excepción, pues minimizará los problemas, principalmente visuales y exposición a altas temperaturas por tiempos prolongados en los operarios de procesos de corte por plasma. También se minimizarán los riesgos de accidente al realizar el trabajo de corte, tales como quemaduras, incendios y ceguera.

Finalmente, se pretende que este prototipo pueda llevarse a la producción en serie y que esté al alcance de todas aquellas pequeñas y medianas empresas.

Por otro lado, se espera que por medio del desarrollo y difusión de este proyecto la sociedad estudiantil se sienta motivada a realizar proyectos científicos y tecnológicos para el desarrollo y crecimiento del País.

Conclusiones

El sistema de control del robot industrial y el diseño mecánico hace que sea un elemento sencillo y fácil de manipular. Además, las velocidades y los torques que maneja el brazo lo hacen seguro para todos los usuarios, siempre y cuando se opere bajo las estrictas reglas de operación.

El diseño y la construcción del brazo robótico industrial permiten que la reproducción en serie sea de manera sencilla, por lo cual es un dispositivo que podrá llegar a varias industrias.

Referencias

1. http://www.kuka-robotics.com/mexico/
2. http://www.globalrobots.com/
3. http://www.steelmate.es.tl/
4. http://www.panasonicfa.com/
5. http://www.logismarket.info/
6. http://www.trendrobotics.com/
7. http://www.motoman.com/
8. http://www.abb.com/robotics
9. Product manual, IRB 140
10. Product manual, motoman hp20 series
11. Manual de corte, soldadura y perforación, Escuela de Bomberos y Protección Civil. Editorial EGRAF.
12. Manual de soldadura universal. Agencia suiza para el desarrollo y cooperación.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 107. Volumen 4(1), 6 páginas.

DETECTOR DE VIBRACIONES AERO-MECÁNICAS EN UN TÚNEL DE VIENTO

Jorge Sandoval Lezama[1], José Arturo Correa Arredondo[2], Tiburcio Fernández Roque[3]

Resumen

Se presentan avances del instrumento experimental que se realiza en el Laboratorio de Aerodinámica de la ESIME Unidad Ticomán de Ingeniería Aeronáutica del IPN México, compatible con la sección de pruebas del túnel de viento TE-48, cuya función es detectar la oscilación de cabeceo en un modelo a escala, debida a las fluctuaciones del flujo (turbulencia) y/o a los efectos del desprendimiento de la capa límite al operar con grandes ángulos de ataque. Es un arreglo mecatrónico que sujeta al modelo aerodinámico mientras "vuela" en la corriente de aire del túnel de viento, permitiendo por un lado, modificar y fijar su ángulo de ataque con valores negativos y positivos y, por otro, detectar cualitativamente los movimientos angulares alrededor de su eje transversal.

Palabras clave: Detector de vibraciones, túnel de viento, turbulencia, vibraciones aero-mecánicas.

Summary

This work presents progress of experimental instrument developed in the Aerodynamics Laboratory of the ESIME Unidad Ticomán-IPN Mexico. This device is compatible with the test section of the wind tunnel TE-48, whose function is to detect the pitch oscillation in a scale model due to fluctuations in the flow (turbulence) and/or the effects of boundary layer separation by operating at high angles of attack. The instrument is a Mechatronic array that holds the aerodynamic model as it "flies" in the wind tunnel air flow, allowing the angle of attack modifications to negative and positive values and, detection of angular movements around its transverse axis.

Key words: Detector of vibrations, wind tunnel, turbulence, aeromechanics vibrations.

Introducción

Vibración aero-mecánica.

La Aerodinámica estudia las leyes que regulan el movimiento del aire y las reacciones que se desarrollan entre el flujo de aire y los cuerpos sólidos que se hallan en su interior [1].

La vibración mecánica puede ser generada por la variación de dichas reacciones aerodinámicas, las cuales en éste caso resultan de un flujo de aire con turbulencia.

En los aviones, los efectos de vibración revisten especial importancia, tanto por razones de seguridad al presentarse efectos de fatiga en su estructura, como por la eficiencia de su aerodinámica y por la comodidad de los pasajeros.

El fenómeno de pérdida de sustentación, también llamado *desplome*, es uno de los principales precursores de la turbulencia, debido al desprendimiento de la capa límite del fluido que baña la superficie superior del ala. El desarrollo de ésta turbulencia, como puede notarse en la figura 1, se relaciona directamente con su ángulo de ataque [2].

[1] IPN ESIME Unidad Ticoman, Av. 600, Colonia San José Ticoman, México DF, CP 07340. Tel. 57296000 Ext. 56092. E-mail: jslezama09@yahoo.com.mx
[2] Idem. E-mail: josearturocorrea@yahoo.com.mx
[3] Idem. E-mail: tfroque@yahoo.com.mx

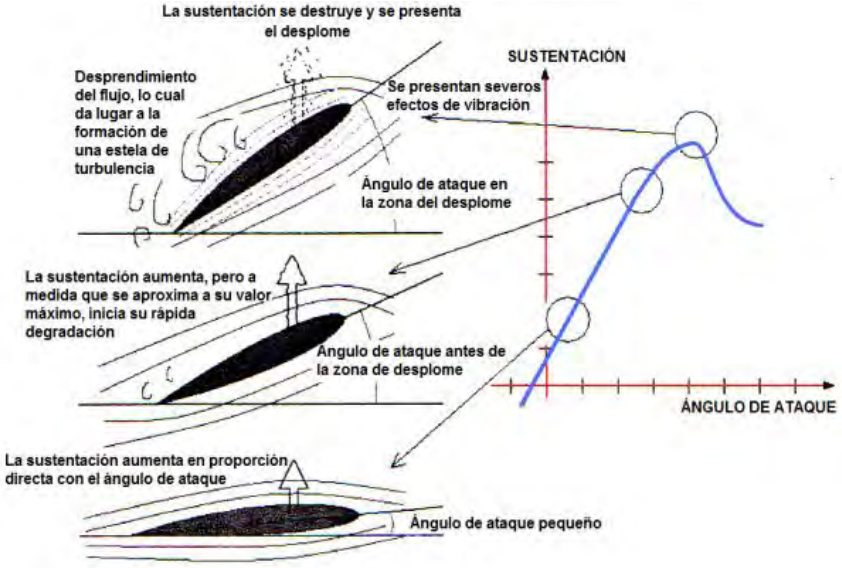


Fig. 1. Comportamiento de la sustentación a medida que aumenta el ángulo de ataque.

Turbulencia

La turbulencia aerodinámica se entiende como el movimiento caótico de las partículas de un fluido, como por ejemplo el aire, que al moverse produce un viento, considerado éste como un conjunto de líneas formadas por el desplazamiento de las partículas del aire, las cuales al iniciarse el movimiento se alinean y viajan ordenadamente, formando capas o láminas de flujo, condición que se va degradando conforme aumenta la velocidad y la distancia recorrida.

Considerando dos líneas de corriente adyacentes, se notará una tendencia a cambiar su velocidad, siendo más lentas aquellas que están más lejos del eje a lo largo del cual se inició el movimiento. Esta condición implica que hay un gradiente de velocidad entre las líneas de corriente.

Este gradiente de velocidad provoca una tendencia a hacer girar a las partículas del aire por el roce tangencial de unas contra otras. Si la velocidad relativa es pequeña, las fuerzas de inercia de las partículas impiden su rotación, es decir, la fuerza de inercia es mayor a la fuerza de fricción que produce la viscosidad del fluido. Pero a medida que la velocidad y/o la distancia recorrida aumentan, las fuerzas viscosas ya no pueden impedir que las partículas empiecen a girar [3].

En tanto la velocidad y/o la distancia sigan aumentando, dicha tendencia se intensificará hasta que la rotación de las partículas sea tal que logre desviarlas de su trayectoria original, provocando el intercambio de partículas entre líneas de corriente y eventualmente el choque caótico entre partículas, iniciándose así una reacción en cadena de choques y cambios bruscos en las direcciones del movimiento y las velocidades, dando origen al fenómeno llamado turbulencia.

En los aviones, dicha turbulencia provoca vibraciones y resistencia al avance, especialmente por la pérdida de energía en las estelas de flujo turbulento que se originan en las puntas de las alas, cuya visualización indirecta es posible con anemometría de hilo caliente [4].

Desarrollo

Fue Osborne Reynolds, ingeniero y físico irlandés (1842-1912) a quien se debe un número o coeficiente adimensional denotado como R_e, que relaciona las fuerzas de inercia con las fuerzas viscosas que se presentan durante el movimiento de un fluido, ecuación (1), [5].

$$\boldsymbol{R_e} = \frac{\boldsymbol{\rho\, v\, D}}{\boldsymbol{\mu}} \tag{1}$$

donde: $\boldsymbol{\rho}$ - densidad del fluido.
$\boldsymbol{v}$ - velocidad característica del fluido.
$\boldsymbol{D}$ - longitud característica del sistema.
$\boldsymbol{\mu}$ - viscosidad dinámica del fluido.

Este número permite predecir si un flujo será laminar o turbulento.

Reynolds demostró que el flujo dentro de una tubería será laminar cuando el $\boldsymbol{R_e}$ es menor a 2000. Cuando este valor supera los 4000, el flujo será turbulento. La longitud característica puede ser el diámetro o la longitud de la tubería. En flujos externos, los números de Reynolds de transición son mucho más grandes, por ejemplo, en una placa plana el flujo turbulento inicia con valores de $\boldsymbol{R_e} = 5\text{x}10^5$, para cilindros es de 250000.

En la vida cotidiana, la mayoría de los flujos tienen turbulencia. Un caso representativo ocurre en los aviones, los cuales logran sustentarse en el aire gracias a la velocidad del viento relativo, el cual al interactuar con el ala provoca una reacción aerodinámica o fuerza de levantamiento $\boldsymbol{L}$, ecuación (2), [6].

$$L = \tfrac{1}{2}\rho V^2 S C_L \tag{2}$$

donde: L - fuerza de sustentación o levantamiento del ala, que es siempre perpendicular a la velocidad característica del viento.
ρ - densidad del fluido, en este caso, del aire.
V - velocidad característica del viento.
S - área que proyecta en planta el ala del avión.
C_L - coeficiente de levantamiento del ala del avión y depende del perfil aerodinámico utilizado.

Un dato interesante es que para aviones en vuelo subsónico, los números de Reynolds tienen valores del orden de 10^6, implicando por lo tanto la presencia de turbulencia aerodinámica.

Las vibraciones que se presentan en un avión tienen muchos orígenes, tanto internos al avión como puede ser el funcionamiento de sus sistemas de propulsión, motores, toberas de aceleración, hélices, alabes, etc., o los externos, tales como la turbulencia presente en el viento relativo.

Dada la complejidad del tema y para contribuir en el análisis de las vibraciones aerodinámicas, se propone explorar las que se originan por la variación de la sustentación en el ala del avión, la cual se debe a la presencia de turbulencia en el flujo de aire.

Una condición extrema y por lo tanto peligrosa es provocada por la variación de la sustentación en el ala cuando llega al punto de entrar en pérdida o desplome. Este fenómeno tiene un proceso que inicia con un nivel bajo de vibración, el cual aumenta gradualmente y en el peor de los casos, de manera súbita, provocando que el avión caiga sin dar tiempo para su recuperación y terminando por estrellarse. En casos menos extremos pero sí peligrosos y onerosos son los daños en la estructura del avión y el malestar e inclusive daños a la integridad física de los pasajeros.

Por lo tanto, cuando se diseña un avión, debe darse especial importancia al comportamiento del flujo de aire, cuantificar la intensidad de su turbulencia y los efectos directos y secundarios que ésta puede provocar.

El diseño en la ingeniería aeronáutica suele desarrollarse a través de una metodología de tres etapas: diseño conceptual, diseño preliminar y diseño detallado [7].

A su vez, cada etapa implica un proceso iterativo, siendo la verificación de resultados uno de los aspectos de dicho proceso del cual depende el éxito o fracaso de un proyecto. Una forma de evaluar y verificar los resultados es la experimentación. Sin embargo, ésta tiene el inconveniente de ser costosa debido a los requerimientos de laboratorios, equipo, instrumentación y personal capacitado.

El IPN se distingue por su infraestructura de laboratorios y talleres, y para el caso que aquí nos ocupa, la ESIME Ticomán se ha visto favorecida en ese sentido.

Este trabajo va encausado a mejorar la instrumentación, especialmente para el túnel de viento TE-44, mostrado en la Fig. 2, lo cual permitirá mejorar e incrementar su potencial de utilización. Es una derivación de un proyecto previo enfocado al análisis de las vibraciones desde el punto de vista estructural, del cual se planteó el diseño conceptual y preliminar de un instrumento para detectar vibraciones. Ahora se trata de hacer el diseño detallado y concluir la construcción de un dispositivo complementario al túnel aludido, el cual podrá ser utilizado para probar modelos de vehículos que al interactuar con el viento, presentan efectos de vibración.

El detector de vibraciones aero-mecánicas cuyo croquis se muestra en la Fig. 3, es un dispositivo que se instala en los puntos de fijación de la balanza aerodinámica, sobre la pared derecha de la sección de pruebas del túnel de viento TE-44.

Su diseño es compatible con los accesorios e instrumentación original de este túnel de viento, lo que permite montar los modelos de prueba con que viene equipado el túnel además de cualquier otro modelo ideado para experimentar con los efectos de vibración que produce la turbulencia inherente en una corriente de aire cuyo número de Reynolds sea mayor a 250000.

Fig. 2. Túnel de viento TE-44. Detector de vibraciones adaptado para su instalación en los puntos de fijación de la balanza aerodinámica.

Funcionamiento

El modelo de pruebas se instala en el eje (12) de la Fig. 3, que está orientado transversalmente a la sección de pruebas y por ende a la dirección característica del flujo. Este eje transmite el movimiento de cabeceo del modelo, provocado por la variación de fuerza de sustentación, ver Fig. 1, que es más intensa mientras mayor sea el ángulo de ataque del ala y la turbulencia presente en la sección de pruebas.

En el extremo exterior de este eje (12), se coloca una fuente de luz que proyecta un haz hacia un sensor fotosensible colocado en la rejilla (1) de la Fig. 3. A través de un acondicionamiento electrónico, se extrae la señal del sensor para alimentar un osciloscopio y medir así la frecuencia y amplitud de la vibración, y/o a un contador digital que desplegará información de la vibración o los ángulos dinámicos del movimiento de cabeceo del modelo de pruebas.

La Fig. 4 muestra el arreglo de un experimento para detectar vibraciones aero-mecánicas. Una prueba típica de apoyo didáctico para las unidades de aprendizaje de aerodinámica, consiste en experimentar el comportamiento aerodinámico de un ala dispuesta con grandes ángulos de ataque, explorando así la zona de su desplome.

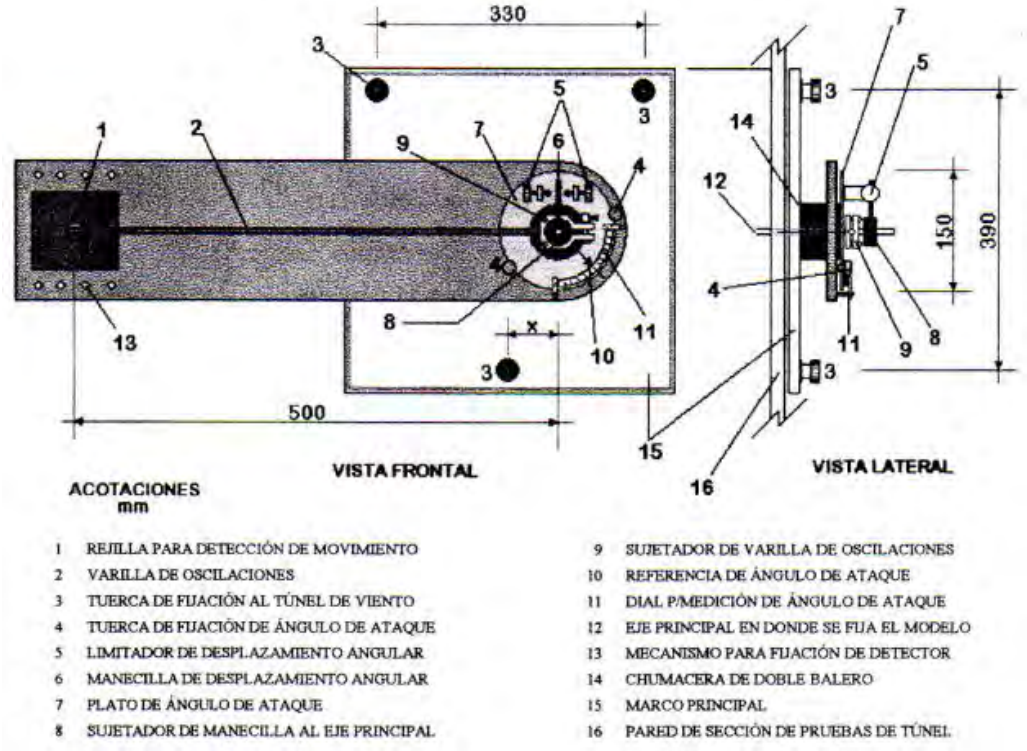


Fig. 3. Detector de vibraciones aero-mecánicas.

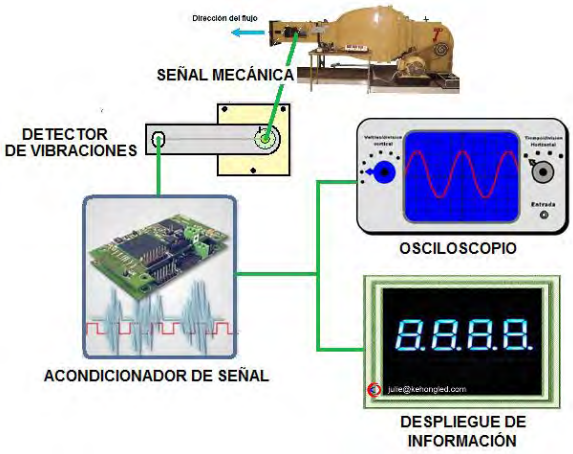


Fig. 4. Arreglo de una prueba de detección de vibraciones aero-mecánicas.

Resultados

Se cuenta con el diseño conceptual y preliminar del Detector de Vibraciones Aero-mecánicas, así como la fabricación de un prototipo del dispositivo como el mostrado en la Fig. 3. Se encuentra en proceso la adaptación del emisor de luz, analizando las opciones de utilizar una lámpara de Xenon-Kripton o una fuente laser así como su correspondiente detector fotosensible.

Se han desarrollado tarjetas electrónicas [8]-[10] (Fig. 5), de interface para acondicionar la señal y con ella alimentar otros dispositivos, tales como un osciloscopio, (Fig. 6), a una computadora o un tablero de despliegue digital de información, el cual también fue desarrollado en paralelo al detector de vibraciones.

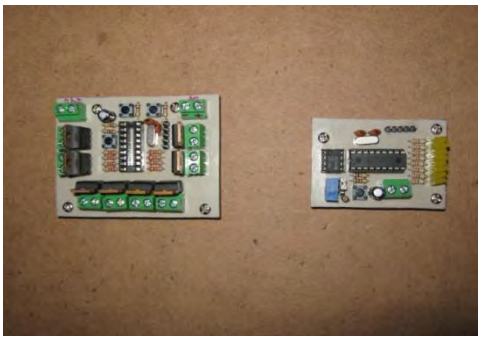


Fig. 5. Tarjetas de interface para adquisición de datos.

Fig. 6. Osciloscopio de pruebas.

Conclusión

Este es un proyecto multidisciplinario en donde participan profesores de varias especialidades y alumnos, favoreciendo el proceso de enseñanza-aprendizaje por la oportunidad de complementar la teoría con la práctica al tiempo de ofrecer una fuente de experiencia, especialmente para los alumnos sin importar el grado que cursen.

Otros beneficios colaterales derivados de este tipo de proyectos, además del académico, es la posibilidad de hacer investigación de utilidad inmediata, reflejada en un autoequipamiento sustentable y con el potencial de llevarla a una vinculación con el sector productivo.

Como trabajo futuro se piensa utilizar el software Matlab y LabVIEW para validar y comprobar resultados y procedimientos además de optimizar lo ya desarrollado.

REFERENCIAS

[1] Ordóñez Robledo Romero, C. *Aerodinámica, Tomo I.* 1961. Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana. México DF.188 páginas.
[2] Gordon Leishman, J. Glenn L., Martin. *"Challenges in modeling the unsteady aerodynamics of wind turbines". American Institute of Aeronautics and Astronautics*. Paper 2002-0037.
[3] Escuela de Ingeniería de Antioquia. 2011, mayo 31. *http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/laminar_turbulento.htm*
[4] Gwo-Bin, L.Huang, A. Chih-Min, H. Grosjean, C. *"Sensing and control of aerodynamic separation by MEMS". The Chinese Journal of Mechanics*, Vol. 16, No. 1, March 2000
[5] Dommasch, D. O. *Airplane Aerodynamics*. 1967. Pitman Publishing Corporation. New York. 621 páginas.
[6] Abbott, Ira H. A. Doenhoff, E. V. *Theory of Wing Sections*. 1959. Dover publications inc. New York. 693 páginas.
[7] Raymer, Daniel P. *Aircraft Design: A Conceptual Approach*. 1989., AIAA Education Series. Washington. 729 páginas.
[8] Fernández Roque T., Sandoval Lezama J., *Utilización de la técnica del hilo caliente volador para medir el flujo inverso generado por un flujo en torbellino*. 8vo. Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica 2007.
[9] Real Time Software for Control, Program Examples in C David M. 1990. Auslander Prentice Hall USA.
[10] Intelligent Sensor Design Using the Microchip dsPIC. 2007, Creed Huddleston Elsevier Newnes USA.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 8. Volumen 4(5), 8 páginas.

DISEÑO DE UN MODELO DE ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS EN RED PARA AMBIENTES EDUCATIVOS.

Marco Antonio Hernández Pérez[1], Salvador Álvarez Ballesteros[2], Chadwick Carreto Arellano[3]

Resumen

En el presente trabajo se aborda el estado del arte del concepto "dominio en red", así como la evolución que ha tenido. Se abordan los diferentes tipos de servicios existentes. Posteriormente, se presenta una propuesta de diseño para implementar un modelo de administración de servicios en red para ambientes educativos, utilizando como base los conceptos antes escritos y el aspecto de inteligencia de dominios.
Palabras clave: dominio, dominio inteligente, redes ubicuas.

Summary

This work engages the art's state of the paradigm "net domain", as well as its evolution through the time. It discusses about the different types of existing services. Secondly, we present a design proposal to implement a management model for web learning services environment using intelligence domains.
Keys words: Domain, Intelligent Domain, Ubiquious Networks.

Introducción

La necesidad de obtener información especializada en forma rápida, segura, eficiente y a un bajo costo, es una realidad inherente dentro y fuera de un ambiente laboral y educativo. Es por esta causa, -entre otras-, que se han desarrollado aplicaciones para móviles que ayuden a satisfacer este requerimiento.

Hoy en día, es perfectamente normal hablar de redes en las que conviven dispositivos que no están totalmente conectados a Internet, tales como: teléfonos móviles, PDA's (*Personal Digital Assistant*), sistemas de navegación para vehículos, consolas de videojuegos, televisión digital; en definitiva, toda una clase de dispositivos heterogéneos. Las tendencias actuales en investigación indican que todos estos dispositivos se conectarán, en muy pocos años, a redes con ancho de banda muy superior a lo actual. Al mismo tiempo, estas redes tendrán acceso multi-modal (IPv6, xDSL, CATV, Wi-Fi, fibra óptica), con lo cual, se multiplicará la conectividad de los dispositivos [1].

En la actualidad, no existen muchas aplicaciones conocidas que, además de cumplir el requisito de proporcionar información, cuenten con un mecanismo de identificación automático, así como con una jerarquización de privilegios de la información. De esta manera, si un profesor llega al aula de clase de un respectivo grupo, la red móvil existente, automáticamente lo identificará y en breve, se cargarán en su dispositivo móvil todos los privilegios a los cuales tiene acceso, como son: materiales de apoyo para la clase, listas de los alumnos, horario de clase, etc.

Dado lo anterior, se vuelve importante la creación de un medio o método que nos permita tener acceso a información de manera eficiente, fácil y rápida; disponible en cualquier momento y lugar y que además, proporcione la ventaja de que la información obtenida sea útil y veraz. De esta forma, se apoyará al proceso educativo más allá de un aula y de un libro [2].

Por esta razón, en el presente trabajo, se propone un modelo de administración de servicios en red, el cual, permitirá que se distribuyan los servicios en una red de acuerdo a los perfiles y a los espacios o "Dominios" de aplicación de los mismos.

[1,2] Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, IPN. Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Zacatenco, Del. Gustavo A. Madero, C.P. 07738, México D.F., Tel. 5729-6000 Exts. 54755 y 54756. E-mail: [1] mark_antony_001@yahoo.com.mx, [2] salvarez@ipn.mx

[3] Escuela Superior de Cómputo, IPN. Av. Juan de Dios Bátiz s/n esquina Miguel Othón de Mendizabal. Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Col. Lindavista C.P. 07738, México, D. F. Tel. 5729-6000 Ext. 46188. E-mail: ccarretoa@ipn.mx

Antecedentes

Redes ubicuas

La definición de tecnologías ubicuas fue introducida por Mark Weiser [3,4], describiéndolas como entornos rodeados de computadoras y redes de comunicaciones inalámbricas, que se encuentran en interacción con los seres humanos. El nuevo paradigma de la tecnología de la información, -bajo este entorno-, se ha dado en llamar *redes ubicuas*.

La palabra *ubicuo* define la cualidad de "existir en cualquier lugar simultáneamente". Las redes ubicuas permitirán a los usuarios acceder a Internet desde cualquier sitio, en cualquier momento.

Este nuevo paradigma se está imponiendo poco a poco en nuestra sociedad, y la educación, como colectivo habitual en el uso de nuevas tecnologías, es una de las primeras en utilizarlo cotidianamente. Esta investigación y desarrollo se centra en dar soluciones aplicadas a los entornos educativos bajo este nuevo paradigma de comunicación. Las redes ubicuas son, por tanto, el último eslabón en la secuencia de crecimiento de los entornos distribuidos.

Las redes ubicuas necesitan un mecanismo para permitir a los usuarios tener acceso seguro y transparente a los recursos de la red. Para solventar estos problemas se necesita una nueva generación de infraestructuras, incluidas aquéllas para la autenticación y la autorización (AAI), para la gestión de atributos de certificados (AC), así como nuevos mecanismos para delegación y revocación de privilegios.

Todo apunta a que la próxima etapa de las comunicaciones "ininterrumpidas" será el surgimiento de nuevas tecnologías y redes ubicuas, las cuales, explotarán el entorno digital.

Tipos de servicios

El surgimiento de la tecnología Internet, ha dado lugar a que se generen diferentes servicios para un mejor manejo de la red:

- *Servicio Web.* Conjunto de aplicaciones o de tecnologías con capacidad para interoperar en la Web.
- *Servicio Móvil*. Acompaña al usuario sin importar cuál sea su localización en la red
- *Servicio Interactivo***.** Es aquél que ofrece un conjunto de funcionalidades de interés para el usuario con las que puede "interaccionar" sin retardos significativos para su percepción de la calidad, por medio de experiencias interactivas. De aquí, surge el término "experiencia interactiva", siendo aquélla en la que el usuario desarrolla una acción de forma libre con una o varias personas en tiempo real.
- *Servicio Distribuido.* Se define como una colección de computadores autónomos conectados por una red y equipados con el software distribuido adecuado, para que el sistema sea visto por los usuarios como una única entidad capaz de proporcionar facilidades de computación.
- *Servicio Colaborativo.* Basados en computadoras que soportan grupos de personas involucradas en una tarea común (u objetivo) y que proveen una interfaz a un ambiente compartido [5].
- *Servicio Federado.* Se encuentra disponible en una zona, una región o un dominio determinado. Los servicios no federados, están limitados a un dominio en específico y pueden ser accesados desde cualquier parte de la red.

A continuación, en la Tabla 1 se desarrollará una comparativa entre los diversos tipos de servicios existentes, con la finalidad de presentar de forma resumida sus características en cuanto a seguridad, escalabilidad, movilidad, conectividad, adaptabilidad, flexibilidad, disponibilidad y transparencia. A continuación se explican dichos conceptos:

- *Seguridad:* son los mecanismos de identificación y autentificación implementados para evitar el uso no autorizado de recursos.
- *Escalabilidad:* habilidad para extender el margen de operaciones sin perder calidad, o bien, manejar el crecimiento continuo de trabajo de manera fluida, o bien, para estar preparado para hacerse más grande sin perder calidad en los servicios ofrecidos.
- *Movilidad*: permite recibir la información que se necesite sin importar el lugar donde se encuentre el usuario; cualquier elemento de interacción del sistema puede estar en cualquier lugar.
- *Conectividad:* permite extender el alcance de una aplicación para que sea accesible desde diversos dispositivos o medios; admite establecer una conexión fiable en cualquier lugar y bajo cualquier infraestructura.
- *Adaptabilidad:* contempla la convivencia e inclusión de nuevas y futuras tecnologías o infraestructuras.
- *Flexibilidad:* permite dar una respuesta ágil y eficiente a los servicios.
- *Disponibilidad:* referencia al hecho de que un usuario autorizado pueda acceder a la información y/o a los servicios en el momento que lo requiera.

- *Transparencia:* habilidad mediante la cual el mecanismo para invocar servicios permanece igual, independientemente de si el servicio reside en una máquina local o en una máquina remota.

Tabla 1. Comparativa de diferentes servicios existentes.*

	Características							
Tipo de servicio	Seguridad	Escalabilidad	Movilidad	Conectividad	Adaptabilidad	Flexibilidad	Disponibilidad	Transparencia
Web	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
Móvil	X	✓	✓	✓	✓	✓ X	✓	X
Interactivo	X	X	✓ X	✓	X	X	X	X
Distribuidos	✓	✓	X	X	✓ X	✓	✓	✓
Colaborativos	✓	✓	✓ X	✓	X	✓	✓ X	✓
Federados	✓	✓	X	X	X	X	X	✓

* donde: ✓ = sí cuenta con esa característica,
X = no cuenta con la característica,
✓ X = cumple con la característica bajociertas condiciones.

Tipos de dominios.

Las redes, o infraestructuras de telecomunicaciones, proporcionan la capacidad y los elementos necesarios para mantener a distancia un intercambio de información y/o una comunicación, ya sea ésta en forma de voz, datos, vídeo o una mezcla de los anteriores.

Surge entonces el concepto *Domino de Red*. Un dominio es un área limitada en la cual, concurren servicios de cómputo. Existen diferentes formas de clasificar a los dominios. A continuación, se describen dado el grado de movilidad que tienen:

1. *Dominios fijos:* en esta estructura, los usuarios y los terminales están permanentemente fijos, conectados físicamente a las redes mediante un cable o mediante espectro radioeléctrico, pero sin poder desplazarse de ubicación (ver Fig. 1).

Fig. 1. Estructura de un dominio fijo.

2. *Dominios móviles*: la Fig. 2 muestra un dominio como éste. En él, los accesos de la red están fijos y los usuarios están en movimiento dentro de las zonas de cobertura de la red; los terminales proporcionan a la red las señales que permiten su seguimiento e identificación.

Fig. 2. Estructura de un dominio móvil.

3. *Dominios distribuidos:* al igual que en un dominio móvil, el usuario no guarda una posición fija dentro de la zona de cobertura. Aquí, los accesos a la red también son móviles, por lo que la zona de cobertura de la red es igualmente móvil. Este tipo de arquitectura también es conocida como dominio virtual, debido a que uno puede acceder a determinada zona de cobertura sin estar precisamente en ella (ver Fig. 3).

Fig. 3. Estructura de un dominio distribuido.

Redes educativas: una estrategia para mejorar la educación.

En la actualidad, las redes educativas son un mecanismo mediante el cual, se van gestando alianzas y se generan espacios de intercambio entre personas e instituciones de distintos lugares del mundo, con objetivos claros y comunes.

Las redes educativas van tomando gran fuerza sumando miembros y sobre todo, generando nuevos espacios y formas de ver la realidad que vivimos; todo ello, enriquecido con el aporte de experiencias y políticas aplicadas en otros países.

Compartir otras visiones abre nuevas posibilidades para la diversidad de situaciones que vivimos en el país; tener nuevas oportunidades, es un aporte al crecimiento y al desarrollo [6].

En esta perspectiva, las redes están contribuyendo enormemente a mejorar la calidad educativa, generando un punto de encuentro, de diálogo, de interaprendizaje, de apoyo solidario, de crecimiento personal y colectivo, de intercambio de conocimientos y experiencias educativas; vale decir, una empresa del aprendizaje [7].

Una vez consideradas las diversas tecnologías abordadas, el objetivo principal, -para este trabajo-, es desarrollar un modelo, el cual, tendrá como finalidad ofrecer al usuario de un entorno educativo, el acceso a la información y/o a los servicios de los diversos dominios de trabajo, de forma rápida, segura, transparente, desde cualquier lugar y en cualquier momento, brindando al usuario confort dentro del entorno educativo (ver Fig. 4). Dentro del modelo que se propone en el presente artículo, concebimos el concepto *Inteligencia de dominios* que propone extender la definición original de dominio.

Modelo propuesto

En la Fig. 5 se muestra el modelo propuesto que ofrece servicios y/o información a la comunidad del entorno educativo.

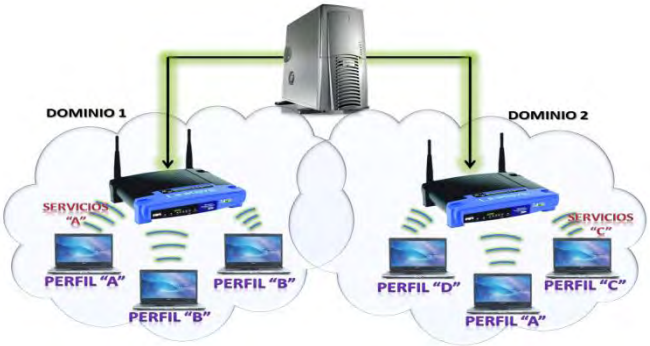


Fig. 4. Estructura del modelo propuesto.

Fig. 5. Modelo propuesto.

De forma general, la arquitectura del modelo propuesto funciona de la siguiente manera:

1. Un dispositivo móvil, al entrar al área de cobertura inalámbrica que ofrece un *router* (que llamaremos dominio), automáticamente se podrá conectar al medio y tener los servicios normales que ofrece el dominio. Para llevar a cabo este proceso, el *router* identificará el dispositivo que desea conectarse al dominio y le asignará una IP.
2. Una vez que el *router* ha proporcionado conexión al dispositivo móvil, enviará al servidor central un mensaje, indicándole que un dispositivo nuevo se ha conectado; de igual forma, con ayuda de la tabla ARP del propio *router,* le indicará al servidor la IP y la dirección MAC que tiene este dispositivo.
3. El servidor, apoyándose en bases de datos que él mismo contiene y en la información que obtiene del *router*, es el encargado de llevar a cabo la identificación del usuario. Una vez definido el perfil del usuario, el servidor autoriza a la red que se le proporcionen las aplicaciones, a las cuales, tiene derecho dada su ubicación actual.
4. Como puede verse, el usuario, -dado el perfil al que pertenezca-, tendrá acceso a una serie de aplicaciones; sin embargo, las aplicaciones que únicamente coincidan con la ubicación actual del usuario, serán las que se proporcionen. Es decir, si el usuario está en un dominio 1, ese usuario recibirá las aplicaciones correspondientes al dominio 1; mientras que si el usuario está en un dominio 2, el usuario recibirá las aplicaciones del dominio 2.
5. La manera en que se presentan al usuario las diversas aplicaciones a las cuales tiene derecho, es a través de una página Web que se le desplegará al usuario automáticamente, una vez que el servidor autorice las aplicaciones al dispositivo en cuestión.

Como se puede observar, los usuarios que estén dentro del dominio de interés, se tienen que identificar para poder acceder a los servicios. Esto permite que el control de acceso se realice por medio de la autoridad de registro del sistema, dándonos un control bien definido de las personas que entran en él. Asimismo, se sabrá cuál es su nivel de acceso y cuáles serán las responsabilidades que tendrán en el sistema.

Diseño del modelo de administración de servicios.

El modelo propuesto de la Fig. 5 está constituido de cuatro módulos, los cuales se presentan en la Fig. 6. Éstos son:

- Módulo de análisis de red.
- Módulo de validación.
- Módulo de aplicaciones.
- Módulo de prestación de servicios.

Módulo de análisis de red.

Este módulo es el encargado de hacer que el dispositivo móvil del usuario detecte la red inalámbrica existente en el área y tenga la posibilidad de incorporarse a la red o dominio del entorno educativo. Para ello, existirá un dispositivo de interconexión que será el encargado de permitir el acceso a la red y por ende, a los servicios que en ésta se ofrezcan. El dispositivo de interconexión es el punto de acceso del dispositivo móvil de usuario y del dominio.

Fig. 6. Módulos del modelo propuesto.

Conexión del dispositivo móvil y de la red por primera vez

El punto de acceso de la red educativa transmite periódicamente su identificador de conjunto de servicio (SSID), luego, el equipo móvil de usuario escucha el SSID del punto de acceso y lo retransmite para lograr una asociación, para que finalmente, el dispositivo móvil realice una petición al servidor DHCP para que le proporcione la información necesaria para conectarse a la red. Cuando es un dispositivo móvil que previamente ha tenido acceso a la red, la asociación entre éstos, así como la petición al servidor DHCP, se hace de manera automática. El servidor DHCP envía al dispositivo móvil la configuración de red para usuario, que incluye la dirección IP, la dirección del *Gateway* y las direcciones de los servidores DNS.

Una vez que se lleva a cabo la asociación entre el dispositivo móvil y la red, el Servidor DHCP actualiza su tabla de usuarios (tabla ARP), la cual contiene la asociación de la dirección IP con la dirección MAC de cada uno de los dispositivos móviles de los usuarios que estén conectados.

La tabla ARP del servidor DHCP es enviada al Servidor para que éste, a través de su base de datos de usuarios registrados, inicie el proceso de validación de usuario (módulo de validación).

Módulo de validación.

La seguridad es un aspecto fundamental en todo sistema de comunicaciones, y dado que este modelo tiene como uno de sus objetivos el proporcionar información y/o servicios a todos los usuarios del entorno educativo, no significa que cualquier usuario pueda tener acceso a cualquier información, sino que el acceso a los servicios debe ser controlado individualmente en función del tipo de privilegios con que cuente el usuario.

Este módulo realiza la validación de usuarios por medio de un identificador (dirección MAC del dispositivo), verificando así, que el usuario ya registrado sea quien intente conectarse al dominio educativo y acceda a los servicios. De ser positiva la identificación del usuario, el servidor procede a continuar con el módulo de aplicaciones para consultar el perfil del usuario, con el fin de saber cuáles son los servicios disponibles para él; mientras que si es una identificación negativa, el servidor ofrece un servicio limitado, lo que abre la posibilidad a visitantes del entorno educativo.

Módulo de aplicaciones.

Este módulo lleva a cabo la administración de aplicaciones y/o de servicios con los que cuenta cada usuario. Este módulo presenta dependencia en relación con el módulo de identificación, ya que para poder establecer la administración de los servicios con los que cuenta el usuario, requiere previamente su autenticación.

Para este módulo de aplicaciones, existen dos condiciones o mecanismos para la toma de decisión:

- Perfil
- Dominio de acceso.

Para el caso del perfil, reconociendo la clase de perfil con el que cuenta el usuario que accede a la red, será el tipo de privilegios a los cuales tendrá acceso. Ejemplos de tipos de perfiles son:

- Estudiante.
- Profesor.
- Administrativo.
- Visitante.

Las aplicaciones que se ofrecen a los usuarios dependen del perfil que éstos tengan dentro de la base de datos de usuarios registrados en el sistema, por lo que estudiantes, profesores, personal administrativo y visitantes, tendrán servicios y/o aplicaciones acorde a sus necesidades.

Otro factor importante para definir las aplicaciones a las cuales tendrán acceso los usuarios, dependerá de la localización en que se encuentren los mismos dentro del *campus*, para otorgarles el tipo de información que recibirán. Por ejemplo: si están en la biblioteca, recibirán servicios acorde a ese dominio como lo es la consulta del catálogo de libros y de revistas; mientras que si se encuentran en el área de aulas, recibirán servicios como lo es la consulta de horarios de los grupos.

Una vez que el servidor de autenticación haya considerado las dos condiciones, enviará al dispositivo del usuario una interfaz HTML con la relación de las aplicaciones y/o de los servicios a los cuales tiene acceso.

Módulo de prestación de servicios.

En este módulo, el usuario selecciona uno de sus servicios disponibles. La conexión con los servicios se hace mediante una arquitectura Cliente-Servidor, la cual consiste básicamente en un cliente que realiza peticiones a un servidor y éste le da respuesta.

El usuario podrá seleccionar de su lista de servicios disponibles el que necesite cuando así lo requiera. Una vez seleccionada la aplicación se establece una conexión entre el usuario y el servidor. Éste último, procesa el servicio y envía una respuesta al usuario a través de una interfaz gráfica por medio de su dispositivo móvil. Cuando el usuario no requiera más este servicio bastará con finalizar la conexión para regresar al inicio, donde nuevamente podrá observar servicios disponibles.

La implantación de este modelo tiene como una de sus finalidades hacer que el usuario tenga una interacción lo más sencilla, transparente y ubicua que se pueda con el entorno educativo. Esta interacción se da en cada uno de los módulos que componen a dicho modelo.

Conclusiones y trabajo a futuro.

Las redes móviles son cada día más comunes en las instituciones educativas. En nuestros días, se ha vuelto un objetivo conseguir un cómputo ubicuo que asegure una total interactividad en todo momento y en todo lugar; por consiguiente, este proyecto está enfocado a acercarnos a dichos objetivos, pretendiendo así, desarrollar un entorno capaz de ofrecer los servicios requeridos para usuarios específicos de la manera más transparente posible.

Actualmente, el modelo se encuentra en fase de desarrollo; sin embargo, se considera que es una propuesta viable debido a que proporcionará confort a los usuarios del sistema del entorno educativo, en base a la movilidad con la que se les permitirá actuar y a la disponibilidad de servicios.

El aprendizaje y el conocimiento son parte esencial en toda organización y comunidad; y al hablar de comunidad, es necesario que el conocimiento se distribuya y se aplique, de otra forma, se volvería inútil. Tomando esta filosofía, el modelo tiene como meta: *brindar información de forma rápida, segura y eficiente.*

En lo que respecta a trabajos futuros, se pretende realizar la implantación del modelo de administración de servicios propuesto en un ambiente educativo real.

Una vez que se verifique la funcionalidad esperada, este modelo bien podría ser útil para el desarrollo de sistemas similares en ambientes diferentes al educativo, por ejemplo: en la medicina (hospitales) y en entornos culturales (museos, teatros, etc.).

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional, en particular a la ESIME, ESCOM, CIC, SIP, COFAA, el apoyo para la realización de este trabajo.

Referencias

[1] Reyes Cano José. (2003). Extraído el 19 de abril de 2011 desde http://www.grc.upv.es/Software/bluepeer/Documentacion/Jos%C3%A9%20Cano%20Reyes%20-%20PFC.pdf

[2] Carreto Chadwick, Menchaca Rolando. (2004). *Arquitectura de Colaboración mediante dispositivos Móviles Aplicada a la Administración del Conocimiento.* Artículo de Investigación. Universidad de Colima, México.

[3] Weiser Mark. (1993). *Ubiquitous computing: origins, current research, and the future.* Eximio Simposio de Lectura. Universidad de British Columbia, Vancouver, Canadá.

[4] Weiser Mark. (2006). *Ubiquitous computing: Intel Architecture Labs*. Hillsboro, OR.

[5] Muñoz Duarte, Miguel Ángel. *Cómputo colaborativo consciente del contexto*. Tesis de Maestría, CICESE. 2003.

[6] Centro Nacional de Investigaciones Sociales y Educativas (CENAISE). Extraído el 8 de enero de 2011 desde http://www.cenaise.org.ec/redes/redes.html

[7] Kay Alan. (1991). *Computers, Networks, and Education.* Revista Scientific American, 138-148.

[8] Rajendran V., Obrazcka K. y García Luna Aceves J.J. (2006). *Energy-Efficient, Collision-Free Medium Access Control for Wireless Sensor Networks.* Diario Wireless Networks, Vol. 12, No. 1.

[9] Akyildiz, Ian F. (2002). *A Survey on Sensor Networks*. Revista IEEE Communications.

[10] Parsa, C., García Luna, Aceves J.J. (2000). *Improving TCP Performance over Wireless Networks at The Link Layer.* Diario ACM Mobile Networks and Applications, Special Issue on Mobile Data Networks: Advanced Technologies and Services, Vol. 5, No. 1, 2000, 57-71.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 9. Volumen 4(5), 6 páginas.

MODELO E INFRAESTRUCTURA DE SEGURIDAD BASADO EN IDENTIFICACIÓN Y AUTENTICACIÓN PARA REDES

Norma Alicia Cruz Guzmán[1], Salvador Álvarez Ballesteros[2], Chadwick Carreto Arellano[2]

Resumen

En el presente documento se describe el diseño de un Modelo e Infraestructura de seguridad para redes basado en identificación y autenticación, de acuerdo al modelo propuesto, los usuarios del entorno podrán acceder de forma transparente, en cualquier momento y en cualquier lugar, mediante diferentes dispositivos a la red y servicios disponibles dentro de los diferentes dominios de trabajo que maneje este entorno con la garantía de disponer de los servicios de acuerdo a su perfil.
Palabras clave: Autenticación, firma digital, identificación, seguridad.

Summary

In essence, this paper describes the design of a model and network security infrastructure based on identification and authentication, according to the proposed model, users can access the environment seamlessly, anytime, anywhere, using different devices network and services available within the different domains of work, to handle this environment.
Keyswords: Autentication, Digital Signature, Identification, Security.

Introducción

La identidad en la sociedad humana juega un rol muy importante y por ende, se entiende también la necesidad de contar con medios de control que brinden el acceso a recursos, instituciones, derechos, obligaciones, etc. de forma segura, tanto para el portador de la identificación, como del prestador de servicios o instancia que requiere de tal identificación.

Cuando se busca cubrir esta necesidad, se suele recurrir a la creación de identificaciones con la impresión de micas con ciertos elementos de seguridad como marca de agua, holograma bidimensional, firma digitalizada, entre otros. El inconveniente que existe en ellas, es que no te permiten identificarte en múltiples organizaciones y se tiene que portar todas las identificaciones con las que se cuenta y en caso de robo o extravió de cartera, tener que ir a cada organización para solicitar identificaciones nuevas.

La problemática entonces, no es el simple hecho de la identificación, si no la posibilidad de extender sus capacidades en cantidad de información, portabilidad, seguridad y generalización y hacer uso de los avances tecnológicos actuales, esto bajo una buena propuesta de infraestructura que permita identificar al usuario.

En cuanto a seguridad se refiere, es necesario verificar que el portador de la identificación es quien dice ser y para eso, existen diferentes tecnologías que apoyan el mecanismo de autenticación de usuarios tales como certificados digitales, claves de acceso/password, tarjetas inteligentes, tokens de seguridad, biométricos entre otros.

Dado lo anterior, se vuelve importante la creación de un módelo e infraestructura que al integrar diversas tecnologías para la identificación y la autenticación antes mencionadas, permita verificar la identidad y la autenticidad de una persona de manera segura.

A continuación, en la sección 2 se exhiben los antecedentes para el desarrollo del modelo planteado; en la 3 se describe el modelo propuesto de seguridad para en el 4 definir la infraestructura que se utilizaría para aplicar el modelo, finalmente, en la sección 5 se muestran las conclusiones de la propuesta y se establecen ideas para trabajos a futuro.

[1] Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, IPN, Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Zacatenco, Del. Gustavo A. Madero, C.P. 07738, México D.F., Tels.: 5729-6000 Exts. 54755 y 54756. Emails: ncruzg0901@ipn.mx,

[2] Escuela Superior de Cómputo, IPN, Av. Juan de Dios Bátiz s/n esquina Miguel Othón de Mendizabal. Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Col. Lindavista C.P. 07738, México, D. F. Teléfono 57296000 ext. 46188. E-mail: salvarez@ipn.mx3

Antecedentes

En el mundo actual, donde carecemos completamente de la necesaria confianza para poder realizar cualquier operación sin preceder de algún de identificación, donde ya no podemos dejar abiertas las puertas de casa o del coche, la identificación de las personas se ha convertido en una importante necesidad en cualquier ámbito. Para poder identificarnos ante otra persona utilizamos los documentos de identidad aceptados (pasaporte, tarjetas, etc.), presentándolos ante quien los solicita. Sin embargo, en muchas situaciones esto ya no es suficiente, ya que no existe una persona física ante nosotros, encargada de comprobar la autenticidad de nuestro documento, sino un sistema (computadora, red, cajero …) que precisa saber quiénes somos sin posibilidad de duda, para ofrecernos un servicio concreto. La cantidad de situaciones donde se produce esto en la vida real es muy elevada y aumenta cada día. Muchas veces no percibimos el gran alcance de estas situaciones, ya que lo hacemos de forma automática, sin plantearnos la importancia de esta seguridad.

Cada día aumenta el número de proveedores de servicios que nos solicita identificación para todo tipo de funciones que, teóricamente, nos facilitan la vida: acceso público o privado a Internet, telefonía móvil, acceso al banco, compras por Internet, servicios y trámites legales, etc. El problema del manejo de tantas credenciales es tan grave que se venden incluso programas para el archivado seguro o cifrado d todos los nombres de usuario, contraseñas, secretos compartidos, etc. Con lo que tuvimos que lidiar día a día.

Desde el punto de vista del usuario que se identifica ante un sistema, también es de vital importancia que el sistema que nos identifica sea el que suponemos que tiene que ser.

Lo que hay detrás de todos y cada uno de estos servicios es una infraestructura de sistemas basados en la autenticación, que gestiona todos nuestros datos de identificación de forma segura y eficiente.

Seguridad Informática.

Es la primera línea de defensa para la mayoría de los sistemas computarizados, permitiendo prevenir el ingreso de personas no autorizadas. Es la base para la mayor parte de los controles de acceso.

Se denomina “Identificación” al momento en que el usuario se da a conocer en el sistema; y “Autenticación” a la verificación que realiza el sistema sobre esta identificación.

Existen cuatro tipos de técnicas que permiten realizar la autenticación de la identidad del usuario, las cuales pueden ser utilizadas individualmente o combinadas, algo que:

1. Solamente el individuo conoce: por ejemplo una clave secreta de acceso o password, una clave criptográfica, un número de identificación personal o PIN, etc.
2. La persona posee: por ejemplo una tarjeta magnética.
3. El individuo es y que lo identifica unívocamente: por ejemplo las huellas digitales o la voz.
4. El individuo es capaz de hacer: por ejemplo los patrones de escritura.

Para cada una de estas técnicas vale lo mencionado en el caso de la seguridad física en cuanto a sus ventajas y desventajas. Se destaca que en los dos primeros casos enunciados, es frecuente que las claves sean olvidadas o que las tarjetas o dispositivos se pierdan, mientras que por otro lado, los controles de autenticación biométricos serían los más apropiados y fáciles de administrar, resultando ser también, los más costosos por lo dificultosos de su implementación eficiente.

Desde el punto de vista de la eficiencia, es conveniente que los usuarios sean identificados y autenticados solamente una vez, pudiendo acceder a partir de allí, a todas las aplicaciones y datos a los que su perfil les permita, tanto en sistemas locales como en sistemas a los que deba acceder en forma remota. Esto se denomina "single login" o sincronización de passwords.

Una de las técnicas para implementar esta única identificación de usuarios sería la utilización de un servidor de autenticaciones sobre el cual los usuarios se identifican, y que se encarga luego de autenticar al usuario sobre los restantes equipos a los que éste pueda acceder. Este servidor de autenticaciones no debe ser necesariamente un equipo independiente y puede tener sus funciones distribuidas tanto geográfica como lógicamente, de acuerdo con los requerimientos de carga de tareas.

La Seguridad Informática se basa, en gran medida, en la efectiva administración de los permisos de acceso a los recursos informáticos, basados en la identificación, autenticación y autorización de accesos.

Riesgos Seguridad

Intrusión. Alguien entra ilegalmente a un sistema y es capaz de utilizarlo y modificarlo como si fuera un usuario legítimo.

Rechazo de Servicios. Alguien logra que no puedan prestarse los servicios a los usuarios legítimos, puede ser dañando al sistema o sobrecargando el sistema o la red.

Robo de Información. Alguien tiene acceso a información confidencial, secreta, reservada o restringida. Es común en espionaje industrial, piratería, etc. *Modelo e infraestructura …*

Firma digital

Una firma digital es un conjunto de datos asociados a un mensaje que permite asegurar la identidad del firmante y la integridad del mensaje. La firma digital no implica que el mensaje esté encriptado, es decir, que este no pueda ser leído por otras personas; al igual que cuando se firma un documento holográficamente este sí puede ser visualizado por otras personas.

El procedimiento utilizado para firmar digitalmente un mensaje es el siguiente: el firmante genera mediante una función matemática una huella digital del mensaje. Esta huella digital se encripta con la clave privada del firmante, y el resultado es lo que se denomina firma digital la cual se enviará adjunta al mensaje original. De esta manera el firmante va a estar adjuntando al documento una marca que es única para ese documento y que sólo él es capaz de producir.

El receptor del mensaje podrá comprobar que el mensaje no fue modificado desde su creación y que el firmante es quién dice serlo a través del siguiente procedimiento: en primer término generará la huella digital del mensaje recibido, luego desencriptará la firma digital del mensaje utilizando la clave pública del firmante y obtendrá de esa forma la huella digital del mensaje original; si ambas huellas digitales coinciden, significa que el mensaje no fue alterado y que el firmante es quien dice serlo [1].

Radius

RADIUS (acrónimo en inglés de Remote Authentication Dial-In User Server). Es un protocolo de autenticación y autorización para aplicaciones de acceso a la red o movilidad IP. Utiliza el puerto 1812 UDP para establecer sus conexiones.

Cuando se realiza la conexión con un ISP mediante módem, DSL, cablemódem, Ethernet o Wi-Fi, se envía una información que generalmente es un nombre de usuario y una contraseña. Esta información se transfiere a un dispositivo Network Access Server (NAS) sobre el protocolo PPP, quien redirige la petición a un servidor RADIUS sobre el protocolo RADIUS. El servidor RADIUS comprueba que la información es correcta utilizando esquemas de autenticación como PAP, CHAP o EAP. Si es aceptado, el servidor autorizará el acceso al sistema del ISP y le asigna los recursos de red como una dirección IP, y otros parámetros como L2TP, etc.

Una de las características más importantes del protocolo RADIUS es su capacidad de manejar sesiones, notificando cuando comienza y termina una conexión, así que al usuario se le podrá determinar su consumo y facturar en consecuencia; los datos se pueden utilizar con propósitos estadísticos.

Autoridad de certificación.

Una autoridad de certificación es un sistema informático dedicado a la emisión y gestión posterior de certificados digitales, incluyendo la renovación, expiración, suspensión, la habilitación y la revocación de certificados, a petición de la autoridad de registro. La emisión de certificados se hace de una forma automatizada y no sin la previa confirmación de la autoridad local de registro. La función básica de las autoridades de certificación: es verificar la identidad de los solicitantes de certificados [2].

Certificados Digitales.

Son documentos electrónicos que asocian una clave pública con la identidad de su propietario. Tienen como objetivo principal permitir verificar la identidad del usuario, garantizando que únicamente él puede acceder a su información personal, evitando suplantaciones. También es el elemento usado para firmar electrónicamente solicitudes o documentos, ayudando a prevenir que alguien utilice una clave para hacerse pasar por otra persona.

Adicionalmente, además de la clave pública y la identidad de su propietario, un certificado digital puede contener otros atributos para, por ejemplo, concretar el ámbito de utilización de la clave pública, las fechas de inicio y fin de la validez del certificado, etc. El usuario que haga uso del certificado podrá, gracias a los distintos atributos que posee, conocer más detalles sobre las características del mismo y es válido únicamente dentro del período de vigencia, que comienza en la fecha de inicio indicada en el certificado y finaliza en su fecha de vencimiento, o con su revocación si fuere revocado [3].

Modelo propuesto.

Una vez definidas todas los antecedentes sobre los esquemas de identificación y autenticación en la Fig. 1 se muestra el modelo propuesto que ofrece servicios y/o información a la comunidad del entorno. Cuando se habla de Seguridad de la información en redes de datos, el objetivo es poder garantizar tres conceptos: confidencialidad, autenticación e integridad.

Fig. 1. Modelo Propuesto.

- *Confidencialidad:* Es una propiedad de la información mediante la cual se garantizará el acceso a la misma solo por parte de las personas que estén autorizadas.
- *Autenticación*: Verificación de la identidad de un usuario para así acceder a determinados recursos o poder realizar determinadas tareas.
- *Integridad:* Hace referencia a que todas las características de la información deben ser correctos para que los datos estén correctos.

La propuesta de solución que se presenta conlleva la creación de una Infraestructura de Identificación y Autenticación de Usuarios. En la Fig. 2 se presenta un diagrama a bloques del modelo propuesto, este tendrá un carácter estándar para un manejo en diferentes redes.

Módulo de Identificación de dispositivo:

Permite la conexión entre el dispositivo móvil del usuario y el dominio de red mediante un dispositivo de interconexión que será el que permita el acceso a la red y por ende a los servicios que se ofrecen. La Fig. 2 muestra el proceso que se realiza en este módulo para la identificación del dispositivo.

El punto de acceso es el dispositivo de interconexión que existe entre el dominio de red y los dispositivos móviles de los usuarios. Cuando la conexión entre el dispositivo móvil y el dominio de red se da por primera vez tenemos que el punto de acceso de la red transmite periódicamente su identificador de conjunto de servicio (SSID), El equipo móvil de usuario escucha el SSID del punto de acceso y lo retransmite para lograr una asociación, haciendo una petición por parte del dispositivo móvil al servidor DHCP para que le proporcione la información necesaria para conectarse a la red.

El servidor DHCP envía al dispositivo móvil la configuración de red, que incluye una dirección IP, la dirección del Gateway y las direcciones de los servidores DNS's. Al mismo tiempo el Servidor DHCP actualiza su tabla de usuarios la cual contiene la asociación de la dirección IP con la dirección MAC de cada uno de los dispositivos móviles de los usuarios que están conectados.

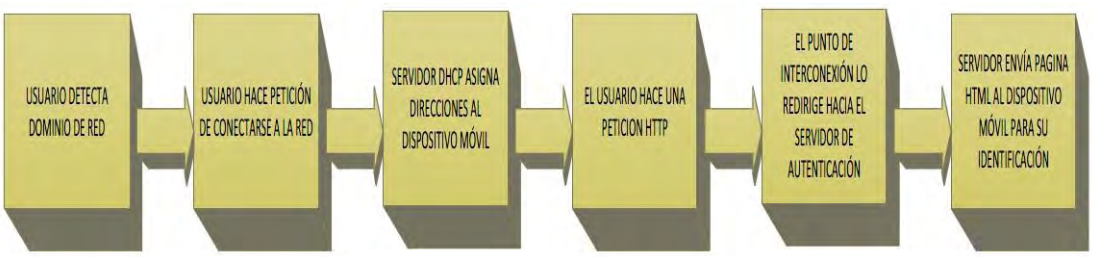


Fig. 2..Proceso de Identificación y Autenticación Modelo e infraestructura …

Esta tabla de usuarios del servidor DHCP se le envía a un Servidor de Usuarios para que verifique contra una Base de Datos de Usuarios Registrados, si el dispositivo móvil ya está registrado en la red. En caso de ser afirmativa la búsqueda se le envía al usuario una petición de identificación a través de una interfaz HTML en su dispositivo móvil. De lo contrario se rechaza la petición de acceso.

Identificación de usuario: La seguridad es un aspecto fundamental en el desarrollo del modelo. Pero, el que sea uno de los principales objetivos del modelo proporcionar información y/o servicios a todos los usuarios no significa que cualquier usuario pueda tener acceso a cualquier información. El acceso a los servicios debe ser controlado individualmente en función de la identidad del usuario.

Mediante la interfaz HTML se le hace la solicitud de introducir nombre de usuario, esto permitirá saber si está registrado. Estos datos se envían al servidor de usuarios para que verifique contra una Base de Datos de Usuarios Registrados. En caso de ser afirmativa pasa a la etapa de autenticación. De lo contrario, se niega el acceso. El proceso del módulo de identificación de usuario se muestra en la Fig. 3.

Fig. 3. Módulo identificación de dispositivo

Autenticación:
Si bien el estándar 802.1x de IEEE habla de los servidores de autenticación en términos genéricos, en la realidad los elementos se diseñan en base a: Autenticación, Autorización y Auditoria (AAA).
Autenticación. La autenticación es un modo de asegurar que los usuarios son quién dicen ser y que el usuario que intenta el acceso a los servicios es de hecho el usuario que tiene la autorización para ello.
Autorización. El proceso por el cual la red de datos autoriza al usuario identificado a acceder a determinados servicios.

Auditoría.
Mediante la cual la red registran todos y cada uno de los accesos a los servicios que realiza el usuario, autorizados o no.

Infraestructura de Seguridad

Los métodos de autenticación están en función de lo que utilizan para la verificación, para nuestro caso se utilizará la Firma digital. Se implementará un Servidor de Autenticación para verificar la autenticidad del usuario utilizando los datos capturados en el formulario de la página HTML que se le presenta al usuario para que introduzca su nombre de usuario y firma digital. Fig. 4. En el proceso de autenticación y autorización de un usuario para acceder a la red, tienen lugar varios pasos:

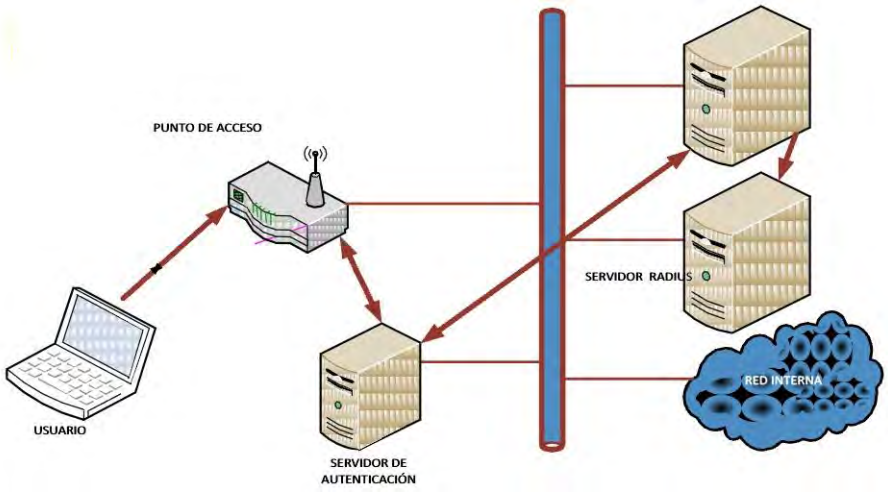


Fig. 4. Conexión del módulo de autenticación Norma Alicia Cruz Guzmán

1. Previo al acceso, el usuario tiene que tener generado un certificado digital por la Autoridad de Certificación (CA).
2. El cliente wireless solicita al punto de acceso permiso para establecer una conexión y acceder a la red. Para ello le envía una solicitud firmada con su clave privada. El punto de acceso está configurado para reenviar la solicitud al servicio RADIUS.
3. El servicio RADIUS, consulta al directorio de autenticación para comprobar las credenciales del usuario y su validez. Además también consulta al Directorio de autenticación las políticas de acceso (horarios de conexión, requisitos de cifrado y autenticación, etc.).
4. El servicio RADIUS determina si el usuario tiene acceso a la red y envía la autorización al punto de acceso.
5. El punto de acceso inicia un intercambio de claves para establecer un cifrado de sesión con el cliente, permitiéndole así acceder a la red de forma segura.

Sello de tiempo: El sello de tiempo de un documento electrónico permite garantizar que la información contenida en el mismo no se ha modificado desde el momento de tiempo en el que se generó el sello. Se solicita a una Autoridad de Sellado de Tiempo (TSA) mediante un resumen (hash) de la información a sellar. Este módulo genera un sello de tiempo con el resumen, la fecha y la hora. La TSA proporciona el sello al solicitante, que lo puede adjuntar a la información para garantizar su integridad en el tiempo. Asimismo, la TSA almacena los sellos emitidos para futuras verificaciones.

Acceso al servicio: Este módulo lleva a cabo la administración de servicios con los que cuenta cada usuario. Se encarga de presentar al usuario los servicios de forma organizada y disponible para cuando así los requiriera. Este módulo presenta dependencia en relación con el módulo de identificación ya que para poder establecer la administración de los servicios con los que cuenta el usuario requiere previamente su autenticación. La administración de los servicios se dará de acuerdo a perfiles específicos que serán creados a partir de la base de datos de usuarios registrados en el sistema y de la base de datos de los servicios disponibles, así el usuario tendrá acceso a su lista de servicios disponibles.

El servidor de autenticación será el encargado de realizar la consulta de cada perfil enviando una interfaz HTML al usuario a través de su dispositivo móvil de la relación de servicios a los cuales tiene acceso.

Conclusiones y trabajo a futuro

La movilidad ha originado nuevos desafíos a la seguridad de los sistemas de información tradicional. El intercambio de datos confidenciales es común en las redes inalámbricas donde el canal de comunicación es inherentemente inseguro y puede ser atacado de manera pasiva comprometiendo la confidencialidad de los datos. Otro de los puntos débiles de la seguridad en las redes inalámbricas es el acceso no autorizado a sus recursos donde un intruso puede violar la confidencialidad y la integridad del tráfico de la red al enviar, recibir, alterar o falsificar mensajes. Este último ataque, que se considera activo, puede llevarse a cabo utilizando un dispositivo inalámbrico comprometido con acceso libre a la red. Se ha destacado que la mejor protección contra el acceso no autorizado es la implementación de mecanismos de autenticación que aseguren el acceso de usuarios identificados a la red.

Actualmente el modelo se encuentra en fase de desarrollo; sin embargo, se considera que es una propuesta factible debido a que proporcionará comodidad a los usuarios. Este modelo tiene como meta: brindar seguridad y eficiencia, esto se comprobara con pruebas exhaustivas y de diferentes tipos para definir el nivel de seguridad que se brinda. En lo que respecta a trabajo a futuro, se pretende realizar la implantación del modelo de seguridad en un ambiente educativo real.

Agradecimientos:

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional, en particular a la ESIME, ESCOM, CIC, SIP, COFAA, el apoyo para la realización de este trabajo.

Referencias

[1] Yago Fernández Hansen, Antonio Ramos Varón, AAA / RADIUS/ 802.1X. Alfaomega. Extraido el 8 de septiembre
[2] Certificado de la ACC. Extraído el 29 de abril de 2011 de http://www.certificadoscopitec.org.ar/info_conocer.htm
[3] Cifrado digital-Certificados digitales. Extraído el 25 de mayo de 2011 de http://www.cert.fnmt.es/popup.php?o=faq

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 10. Volumen 4(5), 8 páginas.

GENERACIÓN DE PARTITURAS APLICANDO ANÁLISIS ESPECTRAL A PIEZAS MUSICALES

Ana Laura Colín Pérez[1], José Antonio Hijar Miranda[2], Edgar Antonio Martínez González[3], Román Divanni Pamatz Reyes[4], Lorena Chavarría Báez[5], Jacqueline Arzate Gordillo[6],

Resumen

Personas que no se dedican a una actividad artística o humanística, comúnmente descuidan la formación humana, la cual se desarrolla adecuadamente tocando un instrumento, esto requiere el uso de partituras; sin embargo, es escasa la diversidad en género musical. Este trabajo tiene como fin facilitar la variedad de estos recursos, al generar la partitura de guitarra, piano o violín de una pieza musical, no orquestal, sin voz, con uno sólo de los instrumentos mencionados. El procesamiento de la señal, comienza en el dominio del tiempo con la envolvente a través de la transformada de Hilbert, en seguida se determinan los segmentos de corte, que están delimitados por la presencia de las notas en la señal, con los límites en el análisis espectral se realiza el ventaneo dinámico, a los segmentos resultantes se les aplica la transformada de Fourier, de este procesamiento se obtiene la frecuencia y duración de cada nota. Posteriormente, en base a la teoría musical se modela la información obtenida, con la fórmula de la frecuencia se determina el tono de la nota y la duración de las notas se designa mediante análisis de tempo, el resultado es una partitura sencilla, la cual se genera en formato pdf.

Palabras clave: análisis espectral, partitura, teoría musical.

Abstract

Peope who do not engage in an artistic or humanistic, often neglect the human, which is playing an instrument properly developed, this requires the use of scores, but there is little diversity in genre. This work is to facilitate the variety of these resources, to generate the music of guitar, piano or violin in a musical piece, no orchestra, no voice, only one of the nstruments. The signal processing begins in the time domain with the envelope through the Hilbert transform, then determines the cutting segments, which are delimited by the presence of the notes in the signal, with the limits in the spectral analysis is performed dynamic windowing, the resulting segments is applied the Fourier transform of this process is the frequency and duration of each note. Subsequently, based on musical theory models the information obtained with the formula of the frequency determines the pitch of the note and the note duration is indicated by analysis of tempo, the result is a simple score, which is generated in PDF format.

Keywords: Spectral Analysis, Sheet Music, Music theory.

Introducción

La formación integral de una persona parte de la idea de desarrollar, equilibradamente, diversas actividades que lo lleven a cultivar lo intelectual, social, profesional y humano [1]. El aspecto intelectual está dedicado a la formación del pensamiento lógico, fortalece la habilidad de razonamiento. La formación social, fomenta los valores y las actitudes para convivir armoniosamente. El ámbito profesional está orientado a la generación de conocimiento, es decir, al saber hacer de la profesión. Finalmente, la formación humana está relacionada con el desarrollo de actitudes que influyen en el crecimiento personal y social del ser humano como individuo [2], por ejemplo, a través de la práctica y difusión del arte y las humanidades [3]. Al descuidar alguno de estos aspectos, no se logra una formación integral. Generalmente, el aspecto humano es el más abandonado debido a diversos factores, por ejemplo, la falta de interés o tiempo en el estudio de las artes.

[1-6] ESCOM IPN, Av. Juan de Dios Bátiz s/n esquina Miguel Othón de Mendizabal. Col. Lindavista, 5537566691. E-mails: [1] analaura_cp@hotmail.com, [2] hijar_2@hotmail.com, [3] iaedgar_shar@hotmail.com, [4] rdpamatz@hotmail.com, [5] lorena_chavarria@yahoo.com.mx, [6] jarzate@ipn.mx

Una buena manera de aproximarse a este último campo la constituye la interpretación musical, que incluye actividades como cantar, dirigir una orquesta o tocar un instrumento. Precisamente, esta última actividad reporta beneficios importantes sobre el cuerpo humano, como la estimulación de las conexiones neuronales [4] y del sistema inmunológico, el incremento de la memoria oral [5], las rápidas mejoras psicológicas y cardiovasculares [6], por citar algunos. Para tocar un instrumento se necesitan partituras, es decir, texto parcial, en notación musical, de cada instrumento que integra una obra [7]. Sin embargo, algunos individuos interesados en tocar algún instrumento se enfrentan al problema de la escasa diversidad de géneros musicales con partituras disponibles. Ya que fácilmente se pueden encontrar partituras de música clásica, pero la existencia en otros géneros es limitada. No hay solución explícita a este problema, para ayudar a resolverlo, proponemos un sistema que, a partir del análisis espectral de una pieza musical, no orquestal y sin voz, en formato mp3 o wav que incluya piano, guitarra o violín, genera la partitura de uno de estos instrumentos. A diferencia de los sistemas existentes, nuestro trabajo es una herramienta libre que los usuarios pueden emplear para obtener sus partituras, adicionalmente, pueden también descargar partituras ya existentes.

Teoría musical

Características del sonido

Las características del sonido son *tono*, *timbre*, *duración* e *intensidad*. El *tono* lo produce el número de vibraciones por segundo, frecuencia y determina las notas musicales: DO-RE-MI, etc. El *timbre* es la cualidad que permite distinguir los sonidos producidos por los diferentes instrumentos. La *duración* define el tiempo de permanencia de un sonido y la *intensidad* depende de la amplitud de la señal, cuanto mayor es la amplitud de la onda, más fuerte es el sonido percibido [8].

Notación musical

Es el sistema de escritura utilizado para representar gráficamente una pieza musical, esta notación se plasma en una partitura.

En el *pentagrama* se centra toda la grafía musical, está compuesto por cinco líneas horizontales, las cuales forman cuatro espacios entre ellas.

La *clave musical* sirve para saber la posición y el nombre de las notas, puede ser de Sol, Fa o Do y se ubican al principio del pentagrama.

Los *compases* dividen el pentagrama en partes iguales y agrupan a una porción de notas por medio de sus tiempos, se indican con una línea dibujada perpendicularmente al pentagrama, las cuales ayudan a la lectura de la música. Para saber en cuantos tiempos (y la duración de cada uno) se divide el compás, tenemos un símbolo llamado *fórmula del compás*. Se trata concretamente de una fracción a continuación de la clave en cuyo numerador se indica el número de tiempos, y en el denominador la figura musical que servirá de unidad de tiempo para medir la duración de dichos tiempos.

El *tempo* es la presteza de una composición o de una sección de la misma, indicada por designaciones de *tempo*, por ejemplo *adagio* o por indicaciones del metrónomo, aparato que hace sonar compases regulares a velocidad ajustable y que se emplea para indicar una precisión, un tempo exacto, por ejemplo 60 bpm.

La *figura musical* determina la duración de los sonidos entre sí. Los *silencios* son las pausas sonoras de los sonidos musicales.

La *ligadura* es un símbolo que sirve para unir, por medio de un arco, la duración de dos figuras musicales que estén a la misma altura.

El *puntillo* se representa por un punto colocado de lado derecho de una figura musical, indica que hay que aumentar la mitad del valor de la figura.

Las *alteraciones* se colocan a lado izquierdo de las notas musicales y modifican la altura de la nota, el sostenido ♯ la sube medio tono, el bemol ♭ la baja medio tono y el becuadro ♮ anula el efecto de alteración.

Un *acorde* es una colección de notas que son ejecutadas en el mismo momento [9]. En la figura 1, se muestran las definiciones citadas en este apartado.

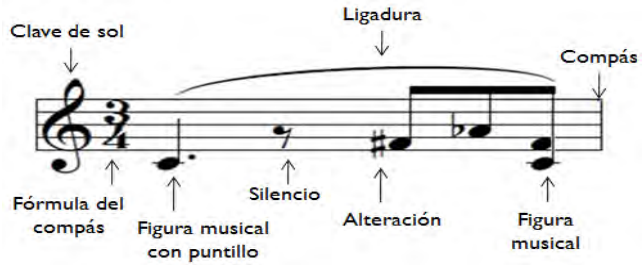


Figura 1. Pentagrama con elementos básicos de notación musical.

Procesamiento digital de señales

Toda señal discreta periódica puede representarse mediante una serie de Fourier, que la describe como una combinación de señales armónicas. A partir de esta representación es posible estudiarlas en el dominio de la frecuencia, esto es, en términos de su contenido frecuencial o espectro. Toda señal periódica posee una frecuencia fundamental f_0, la cual es la frecuencia más baja tal que las frecuencias dominantes pueden expresarse como múltiplos de esta frecuencia fundamental denominados armónicos.

Conceptos básicos

El espectro de frecuencia de un fenómeno ondulatorio es una medida de la distribución de amplitudes de cada frecuencia. Un proceso que cuantifique las diversas intensidades de cada frecuencia se llama análisis espectral y matemáticamente el análisis espectral está relacionado con una herramienta llamada transformada de Fourier o análisis de Fourier.

Herramientas

La serie de Fourier es la descomposición de una señal discreta $x(n)$ (periódica con frecuencia fundamental f_0) en una suma de funciones armónicas o senoidales complejas de la forma $e^{j\Omega n}$, de frecuencia fundamental f_0 y kf_0 (armónicos), ponderadas con un coeficiente c_k, el cual muestra el nivel de contribución de dicha frecuencia en la señal original.

$$c_k = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{\frac{-j2\pi kn}{N}} \tag{1}$$

El conjunto de coeficientes c_k (1) se denominan la Transformada de Fourier, donde *N* es la longitud de la señal, *k* el índice de la componente frecuencial y *n* el índice de cada componente temporal. Por otra parte, la transformada inversa de Fourier permite reconstruir la señal en el dominio del tiempo a partir de sus componentes o coeficientes frecuenciales c_k. Esta es una transformada de tipo homogéneo, ya que transforma sucesiones finitas en sucesiones finitas de igual longitud.

Comúnmente las funciones o señales se definen completamente en el dominio del tiempo o en el de la frecuencia, y la transformada de Fourier realiza un cambio de la función o señal de un dominio a otro. La transformada de Hilbert conforma la señal con la mitad de la información en el dominio del tiempo y la otra mitad en el dominio de la frecuencia. Es una herramienta matemática útil para describir la envolvente compleja de una señal modulada por una portadora real[10].

Si se tiene una señal $x(t)$ cuya transformada de Fourier es $X(f)$, a la transformada de Hilbert de $x(t)$ se le llamará $\hat{x}(t)$ y su transformada de Fourier será:

$$\hat{X}(f) = -j\,\mathrm{sgn}(f)X(f) \tag{2}$$

Por lo que la envolvente de la señal original será la transformada de Fourier inversa de $\hat{X}(f)$ [11].

Análisis general

Se obtuvo un sistema que a partir del análisis espectral de una pieza musical, en formato mp3 o wav que incluya piano, guitarra o violín, genera la partitura de uno de estos instrumentos.

La canción puede ser de cualquier género a excepción de jazz, ya que este género rompe frecuentemente las reglas de la teoría musical, debe contener solo uno de los instrumentos mencionados. El audio no debe estar mezclado, ni contener voz, estas recomendaciones se dan por las distorsiones que pueden afectar al análisis de la señal.

Nos centraremos a hablar de los dos procesos principales *Procesar digitalmente la señal*, para obtener información de la señal de audio y *Modelar partitura* que interpreta la información obtenida, ya que el trabajo fundamental se realizó en la señal para obtener información de las notas presentes en la señal, así como en el análisis de dicha información con el fin de extraer datos para modelar una partitura. Se utilizaron las etapas *Cargar archivo de audio* y *Enviar partitura* para el intercambio de información con el usuario. La primera etapa *Cargar archivo de audio* recibe la pieza musical y sus datos, como son titulo, autor, género y un correo al que se enviará la partitura, y la última etapa *Enviar partitura* envía al correo proporcionado inicialmente la partitura que será generada. En la figura 2 se muestran de manera el proceso general.

La fase *cargar archivo de audio* recibe la pieza musical y sus datos, como son titulo, autor, género y un correo al que se enviará la partitura, finalmente proporciona a la siguiente etapa el archivo de audio.

Figura 2. Diagrama general del sistema.

Procesamiento digital de la señal

Tiene por objetivo la identificación de las frecuencias y duraciones correspondientes a las notas musicales presentes en el archivo de audio, la Fig. 3 presenta los bloques que conforman esta etapa.

Figura 3. Diagrama del procesamiento digital de la señal

a. Conversor a señal digital

Este módulo realiza la adecuación del archivo de audio original del formato recibido (mp3 o wav) a formato wav, con calidad de sonido mono, para unificar las componentes de audio contenidas dentro de los canales en los que puede distribuirse el sonido, y una frecuencia de muestreo estandarizada de 44100 Hz, con el fin de obtener espectros de frecuencias con la suficiente resolución y longitud para cubrir totalmente el intervalo de frecuencias dentro del cual se encuentran las notas musicales, esta etapa genera una señal promedio que posee las características y propiedades del sonido en su totalidad, para poder trabajar con ella se realiza una lectura del nuevo archivo.

b. Determinar segmentos de ventaneo

La señal digital consiste en una concatenación de grupos de componentes frecuenciales que representan una nota musical o un acorde, de la observación encontramos que una nota musical o acorde al inicio produce un notable cambio de amplitud en la señal, lo que denominamos *cambio abrupto*, conforme la nota va terminando se observó un decremento en la amplitud, característica que permitió obtener segmentos de señal donde únicamente existieran componentes correspondientes a una nota musical o acorde. Dicha señal presenta numerosas variaciones tanto en signo de las componentes y presenta oscilaciones de alta frecuencia, estas variaciones dificultan la localización de los *cambios abruptos*, por lo que se determina una envolvente general de la señal de audio original que elimina los inconvenientes mencionados anteriormente.

Para obtener la *envolvente general* se aplica la transformada de Hilbert a pequeños segmentos de ésta, las transformadas obtenidas de cada uno de los segmentos se concatenan en el mismo orden de la *señal digital de audio*, así resulta un arreglo unidimensional de números de punto flotantes, como se observa en la Fig. 4.

Figura 4. Señal digital de audio y su envolvente, resultado de aplicar la transformada de Hilbert.

Con la *envolvente general* encontrar los límites de segmentación es más preciso, estos se ubican encontrando un mínimo y un máximo local, se realiza una comparación de amplitudes entre ambos y si la diferencia de ellas representa un *cambio abrupto*, el índice correspondiente al mínimo se almacena en un vector temporal de datos. Todos los mínimos obtenidos conforman los límites para el *ventaneo dinámico* de la señal.

La Fig. 5 muestra un ejemplo de una señal digital, se marcan los límites los grupos de componentes, notas o acordes que la componen.

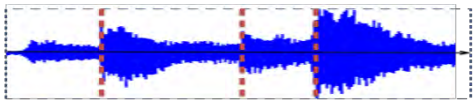


Figura 5. Fragmento de señal en donde se indican los límites de ventaneo.

c. Analizar frecuencialmente cada segmento.

Este proceso consiste en calcular la transformada de Fourier a cada segmento obtenido del *ventaneo dinámico* de la señal sobre un par de índices del vector obtenido anteriormente. Cabe mencionar que una de las principales aportaciones de este trabajo es el *ventaneo dinámico*, el cual mejoro la ubicación de notas en la señal y proporcionó mayor precisión en la asignación de la duración a una nota. La transformada calculada es analizada para identificar los valores de aquellas que representan frecuencias de mayor presencia en el segmento; es decir, las frecuencias pico que representan sea el fundamental de una nota musicales, o los fundamentales que conforman un acorde.

Cada frecuencia o conjunto de frecuencias determinados se escriben en un archivo de texto además de su duración en milisegundos, ambos valores separados por un guión. En el caso de los acordes, cada par de valores de frecuencia y duración se separan con el signo de dos puntos (frecuencia1 – tiempo1 : frecuencia2 – tiempo2 : frecuencia3 – tiempo3 : ….). Una vez que se termina de analizar en frecuencia un segmento, se inserta el signo de diagonal / para indicar que se ha terminado de identificar las frecuencias una nota o acorde y se procede a realizar la siguiente segmentación, como se presenta en la Fig. 6. Esta diagonal representa un avance en el tiempo de la partitura.

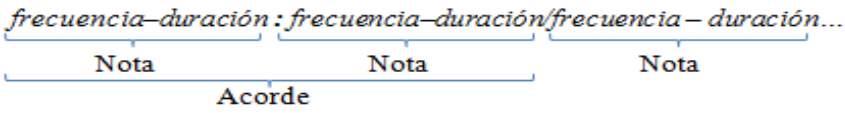


Figura 6. Formato de archivo de texto devuelto por el módulo anterior.

Modelación de partitura

Esta fase se encarga de traducir la información generada dentro del archivo de texto en la etapa anterior a las figuras musicales que formarán la partitura de la obra, mostrado en un archivo de formato PDF. Esta etapa se divide en cinco actividades al cabo de las cuales se obtendrá la partitura dibujada correspondiente al archivo de audio que brindó el usuario. La Fig. 7 presenta las etapas de dicha fase.

Figura 7. Descripción general de los métodos del modelador de la partitura.

a. Obtener notas

El primer paso es leer el archivo de texto con la información de las frecuencias y duraciones de las notas musicales. Cada separación por acorde, indica que en un mismo intervalo de tiempo se hallaron una o más

(3)

notas, lo que significa que la duración será la misma. La frecuencia proporciona la nota musical y la octava (3).

$$n(f, o) = \left(12 \cdot \log_2 \frac{f}{440} - o + 3\right) + 10$$

Donde *o*, es la octava donde se encuentra la nota musical, f es la frecuencia de la nota que se busca y n es el número de nota correspondiente al índice en un arreglo que muestra la Fig. 8.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
DO	*DO#*	*RE*	*RE#*	*MI*	*FA*	*FA#*	*SOL*	*SOL#*	*LA*	*LA#*	*SI*

Figura 8. Relación de notas básicas, resultado de la fórmula de las frecuencias.

La Fig. 8 nombra las notas musicales básicas, con sus respectivos sostenidos, para sumar 12 notas básicas, en todo el rango de octavas de la uno a la ocho.

La información de cada nota encontrada, es a su vez, agrupada en conjuntos de acordes, cada uno con diferente número de notas con nombre, octava y duración. Paralelamente se identifica hasta cuál de estos acordes, la duración es igual a un minuto, dado que este dato se requiere más adelante.

b. Determinar clave

Con el conjunto de octavas y notas musicales obtenidas, es posible detectar la clave musical de la partitura, la que nos permitirá conocer la ubicación de cada nota musical dentro del pentagrama. Aunque existen tres claves, los tipos de instrumentos que se consideran en este trabajo sólo utilizan la clave de SOL y de FA4. Cada clave musical posee un determinado rango de octavas y dentro de estas un rango de frecuencias. Conociendo el intervalo de frecuencia que hay entre la nota de mayor frecuencia y la de menor frecuencia de un acorde, se determina si dicho intervalo es un subconjunto del rango de frecuencia de una de las claves consideradas. En tal caso, al acorde en cuestión puede asignársele una clave musical.

c. Determinar tempo y compás

Partiendo del hecho de que los compases regulares comunes están dados en términos de cuartos (¼), sobre la nota base que es la figura negra, solamente se han considerado los compases de 3/4 y 4/4. Cabe mencionar que el tempo, medido en BPM (Beats per minute), se define como el número de notas negras que hay en un minuto.

Esta etapa inicia con la extracción de un conjunto de duraciones que se aproximan a un minuto de la obra del conjunto de acordes que se ha construido anteriormente. Para reducir el esfuerzo computacional en el proceso de selección de tempo, se seleccionan tempi candidatos que coincidan en su mayor parte con la obra. La propuesta consiste en calcular la duración de un compás, 3/4 o 4/4, tanto en el conjunto de duraciones de un minuto como con la duración base que proporciona el compás. Empatando ambas duraciones de compases se calcula un margen de error resultante. Finalmente se determina si el error supera el umbral definido. Este umbral define una diferencia que deben tener ambas duraciones de compases para que el tempo analizado sea considerado como candidato para el compás. Este proceso se realiza para todos los tempi en música de 40 a 250 BPM y para cada compás regular, 3/4 y 4/4, contemplados.

Una vez reducidos los números de tempi que se analizarán, con cada tempo elegido se realiza un proceso que calcula el ideal. El proceso consiste en tomar la duración base de cada tempo por minuto y compararlo con la duración del minuto de la obra. Los criterios a considerar en este proceso que es realizado con todos los tempi candidatos, son:

1. *Margen de error*: Se verifica que tan exacto fue el tiempo del minuto de la obra con el minuto del tempo.
2. *Número de compases:* Para que el tempo sea correcto, deben coincidir el número de notas negras que indica el tempo con las que se forman en el minuto de la obra. Para reducir esta cantidad se considera el número de compases formados en un minuto. Los tempi que hayan formado el número exacto de compases en el minuto de la obra según su valor, serán mejor considerados a ser ideales.
3. *Número de ajustes:* Hay casos en los que se cortan las duraciones para completar los compases. Aunque el objetivo es relacionar toda duración con el número de compases, este ajuste debe ser mínimo en el tempo ideal.

Este proceso se realiza con los compases considerados, cada uno con sus respectivo conjunto de tempi candidatos. Para finalizar el proceso de selección de tempo y compás, se toman los tempi ideales por compás detectados en los procesos anteriores y se aplica el mismo criterio que en la etapa anterior con estos dos tempi. Y de esta forma se obtiene *el tempo y compás* estimado para la obra musical.

Tempi Candidatos	Margen de error	Numero de compases	Ajustes	Ideal
55 BPM	.125	19	10	✗
100 BPM	0	33	4	✓
150 BPM	-.25	49	17	✗

Figura 9. Resultados de la tercer etapa del bloque Determinar tempo y compás, Selección de tempo ideal por compás.

d. Asignación de figuras musicales

Con el tempo detectado, ya es posible asignar una figura musical a cada nota de la obra a partir de la|| duración base del tempo estimado. Este proceso se hace de manera similar a la *selección de tempo ideal por compá*s, El cual consiste en encontrar una relación entre la duración base del tempo con las duraciones de la obra musical. En la teoría musical, existe una relación 2:1 entre la duraciones de las figuras musicales, donde el valor correspondiente a la nota negra, será 1. Sabiendo esto, para cada relación que se halle, corresponde una figura musical, ya sea con puntillo o sin puntillo. Si la relación especifica que la duración está aumentada en la mitad de la duración original, se trata de una figura con puntillo. En la partitura sencilla, las notas de un acorde tendrán una sola duración, es decir, la misma figura musical.

e. Graficación de partitura

Ya obtenidos los elementos necesarios para una partitura, que constan de clave musical, compás, tempo y figuras musicales, es posible construir la partitura de la obra. Este último módulo es el encargado de agrupar las notas musicales y dibujarlos sobre un archivo PDF.

Dentro de los elementos de la partitura detectados, está el conjunto de acordes con su respectiva figura musical. Para ser graficados y que la partitura tenga una lectura correcta, las notas deben ser agrupadas en compases para garantizar que se completa cada compás que conforma la partitura. Dentro de este procedimiento tenemos dos casos a considerar:

1. *Caso ideal*: Al momento de agregar acordes, los tiempos completan perfectamente el compás desacuerdo a la fórmula obtenida.
2. *Caso no ideal:* Los acordes agregados al compás, exceden los tiempos establecidos en la fórmula por lo que se realiza lo que llamamos *ajuste de ligadura* del acorde que sobrepaso el tiempo. Esto último consiste en segmentar un acorde en dos o más que conserven una relación con la duración base para que completen satisfactoriamente el compás en cuestión. Los segmentos restantes de esta separación formaran parte del siguiente compás. Como el acorde que se seccionó poseía una duración original, para que mantenga el sonido en el mimo tiempo se une los tiempos de los fragmentos resultantes con una ligadura, de esta manera no se alteran las duraciones obtenidas inicialmente.

Ya agrupadas las notas, inicia la construcción de la partitura como archivo PDF considerando el largo y ancho del documento para generar una partitura legible y presentable. La última fase es *enviar partitura* y envía al correo proporcionado inicialmente la partitura generada.

Conclusión

Poder obtener una partitura del archivo de audio se comenzó con el *procesamiento digital de la señal* en donde la principal aportación es el ventaneo dinámico, el cual contribuyó a la precisión de la duración de una nota detectada, posteriormente el bloque *modelar partitura* tiene su aportación en cuanto al análisis de tempo lo que permite dar una interpretación adecuada a la duración obtenida en la etapa anterior, cabe resaltar que éste análisis mejora la aproximación de la asignación de figuras musicales a las duraciones encontradas,

En la literatura se encontró trabajo con objetivos similares, nuestro trabajo tiene una precisión de detección similar a [12], pero cabe mencionar que este no genera partitura, se limita a la detección de la frecuencia, por otra parte [13], tiene una precisión mayor debido a que se enfoco a las características del

piano, nuestra ventaja, además de reconocer la guitarra y el violín, es la designación de figuras musicales en base al tempo de la obra ya que [13]asigna las figuras, mediante duraciones fijas en milisegundos.

El trabajo futuro a realizar consistiría en recibir audio con más de un instrumento, identificar los instrumentos presentes y separar dichas señales, este análisis se ha hecho en los siguientes trabajos [14], [15], por citar algunos.

Reconocimientos

Los miembros del equipo de desarrollo agradecen el apoyo sobre teoría musical brindado por el *Ing. Jorge Sandoval García*, Laboratorio de Informática Musical y Música Electroacústica de la Escuela Nacional de Música. Al *Dr. Sergio Suarez Guerra*, Procesamiento de señales del Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional, y a la *M. en C. Jacqueline Arzate Gordillo* por los conocimientos proporcionados acerca del procesamiento digital de señales. Así como a la dirección y atenta colaboración de la Dra. *Lorena Chavarría Báez* en el presente trabajo.

Referencias

[1] Universidad Veracruzana. Disponible: http://www.uv.mx/universidad/doctosofi/nme/finesfi.html

[2] Lourdes Ruiz Lugo (2008, Feb). Revista universidad de sonora, Volumen 19 Disponible: http://www.revistauniversidad.uson.mx/revistas/19-19articulo%204.pdf

[3] Jornadas de la Sociedad para la Neurociencia, Los Ángeles, Marzo1999

[4] Mon-Chaio Lo. Music And Its Affect On The Human Brain. River Ridge High School. Graduation Project 1997-98.

[5] Michael Miller. (2008, November 12). Joyful Music May Promote Heart Health. [ScienceDaily] Disponible: http://www.gui.uva.es/revista/login/12/csound.html

[6] Luis A. Fuente Simón (Feb, 1995), "CSOUND: UN LENGUAJE DIFERENTE", Login, No.12 Disponible: http://www.sciencedaily.com/releases/2008/11/081111182904.htm

[7] Francisco J. García Castillo. Trabajo de graduación: Características del sonido. Información Técnica de Cursos, Tesis y Proyectos. Recuperado el 10 de Enero del 2011, disponible en: http://www.ieesa.com/universidades/tesis01/capt4b.pdf

[8] Francisco Moncada García. Teoría de la música. Primera edición. México D.F.: Ed FRAMONG

[9] Michael Randel. Diccionario HARVARD de música. México: Ed. Diana.

[10] "Procesamiento de señales analógicas y digitales", Autor.- Ashok Ambardar, 2° Edición, Editorial Thomson Learning, 2002.

[11] "Tratamiento digital de señales: Principios, algoritmos y aplicaciones", Autor.- John G. Proakis, Dimitris. G. Manolakis, 3° Edicion, Editorial Prentice Hall, 1999.

[12] J. J. Carabias-Orti, P. Vera-Candeas, F. J. Cañadas-Quesada, and N. Ruiz-Reyes, "Music Scene-Adaptive Harmonic Dictionary for Unsupervised Note-Event Detection", IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language processing, vol. 18, no. 3, 2010.

[13] A. M. Barbancho, A. Jurado, I. Barbancho, "Identification of rythm and sound in polyphonic piano recordings", Forum Acusticum, Sevilla 2002.

[14] A. M. Barbancho, I. Barbancho, M. T. Fernández, "Sistema de reconocimiento y caracterización de instrumentos musicales", XVIII SimposiumNacional de la U.R.S.I, A Coruña, 2003.

[15] E. Tapia, R. Rojas, E. Cuevas y D. Zaldívar, "Una arquitectura neuronal para la separación de señales mezcladas linealmente", CONCIBE 2006, Septiembre 25-29, 2006.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 15. Volumen 4(5), 8 páginas.

APLICACIÓN DE MODELOS ASOCIATIVOS PARA LA LOCALIZACIÓN SUB-CELULAR DE PROTEÍNAS

Jorge Heydrik Arroyo Leyva[1], José Ángel Martínez Navarro, María Elena Acevedo Mosqueda, Fabiola Martínez Zúñiga

Resumen

La secuencia de un genoma contiene genes codificados que representan proteínas, las cuales tienden a localizarse en varias partes de la célula e interactúan entre sí para realizar funciones cruciales. Por lo tanto, la localización sub-celular de proteínas (genes) se vuelve una tarea importante. En este trabajo se presenta una herramienta de inteligencia artificial para realizar la localización automática de genes dentro de la célula. La propuesta tiene un enfoque asociativo y se utiliza, en particular, el modelo de las Multi-Memorias Asociativas Alfa-Beta. La efectividad en la localización obtenida fue del 97.99%, lo cual significa que este método, de 748 genes, no fue capaz de localizar sólo 14 de ellos.

Palabras clave: Clasificación, Localización Sub-celular, Multi-Memorias Alfa-Beta, Modelos Asociativos.

Summary

The sequence of a genome contains codified genes representing proteins which can be localized in several parts of a cell and they act on each other to perform decisive functions. Therefore, the subcellular localization of proteins becomes an important task. In this work we present an artificial intelligent tool to localize automatically proteins inside the cell. The proposal has an associative approach and it particularly uses the model of Alpha-Beta Associative Multi-Memories. The effectiveness in localization was of 97.77%, which means that the method was not able to localize 14 genes from 748.

Keywords: Classification, Sub-cellular Location, Multi-Memory Alpha-Beta Associative Models.

Introducción

Las proteínas [1] son las moléculas trabajadoras de una célula y llevan el programa de actividades, las cuales están codificadas por los genes. Dado que la estructura y función de una célula está determinada por las proteínas que contiene, el control de la expresión genética es un aspecto fundamental de la biología molecular de la célula. Las proteínas se pueden dividir en tres clases: globulares, fibrilares y de membrana. Comprender la función de las células requiere no sólo de la identificación de las proteínas expresadas en un tipo de célula dada, sino también de la caracterización de la localización de esas proteínas dentro de la célula.

En los últimos dos años. Se han determinado las secuencias completas de un número de genomas [2]. El reto central de la Bioinformática es la racionalización de toda la información obtenida de la secuencia, no sólo para encontrar estrategias más adecuadas para el almacenamiento de toda esta información sino para diseñar herramientas de análisis más incisivas. Debido a que la localización subcelular juega un papel importante en la función de la proteína, se vuelve esencial tener disponibles sistemas que puedan predecir la localización a partir de la secuencia para la completa caracterización de la expresión de las proteínas.

Se han utilizado algoritmos de clasificación clásicos para la predicción de la localización de proteínas dentro de la célula, sin embargo, los modelos asociativos no han sido aplicados a este problema.

[1] Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Zacatenco del Instituto Politécnico Nacional. Av. IPN s/n Col. Lindavista, C.P. 07738, Ciudad de México, México. E-mails: jorge_gtb@hotmail.com, josekun13@gmail.com, ame1972@gmail.com, dominio300@prodigy.net.mx

En este trabajo, se utilizó la base de datos GENES disponible en la página de KDD 2001 [3], para realizar la tarea de localización de proteínas, además, se propone el uso de modelos asociativos, en particular, se aplica el modelo de las Multi-Memorias Alfa-Beta [4] que ha demostrado ser una herramienta adecuada para la bioinformática [5].

Memorias Asociativas

Una Memoria Asociativa (MA) es un sistema que relaciona patrones de entrada con patrones de salida. El objetivo de una memoria asociativa es recuperar el patrón de salida cuando se le presenta su patrón de entrada correspondiente. El diseño de una MA necesita de dos fases: una de aprendizaje y una de recuperación En la primera fase, la memoria debe ser capaz de asociar los patrones de entrada con los patrones de salida. En la fase de recuperación, la memoria asociativa recupera un patrón de salida correspondiente al patrón de entrada que recibe como información.

Si los patrones de entrada son diferentes a los patrones de salida, entonces la memoria asociativa es heteroasociativa, por otro lado, si los patrones de entrada y salida son iguales, estamos hablando de una memoria autoasociativa.

Memorias Asociativas Alfa-Beta

Las memorias asociativas Alfa-Beta [6] utilizan el operador α en la fase de aprendizaje, y el operador β es usado en la fase de recuperación de patrones. Los conjuntos A y B, los cuales son: $A = \{0, 1\}$ y $B = \{0, 1, 2\}$ definen las operaciones binarias α y β mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1. Operaciones Alfa y Beta: $\alpha: A \times A \to B$ *y* $\beta: B \times A \to A$.

x	y	$\alpha(x,y)$	$\beta(x,y)$
0	0	1	0
0	1	0	0
1	0	2	0
1	1	1	1
2	0	-	1
2	1	-	1

Los conjuntos A y B, las operaciones binarias α y β junto con los operadores $\wedge$ (mínimo) y $\vee$ (máximo) usuales, conforman el sistema algebraico (A, B, α, β, $\wedge$, $\vee$) en el que están inmersas las memorias asociativas Alfa-Beta. Dependiendo del operador utilizado en la fase de aprendizaje, mínimo o máximo, las MA Alfa-Beta pueden ser del tipo *máx* o *mín*, respectivamente.

Memorias Heteroasociativas Alfa-Beta

Una memoria es Heteroasociativa si: $y^\mu \neq x^\mu \ \forall \mu \in \{1, 2, ..., p\}$, donde μ es el índice que identifica a un número específico de patrón y p es el número de patrones asociados. A continuación se definen las fases de aprendizaje y recuperación de una memoria heteroasociativa α-β.

Fase de Aprendizaje

Paso 1. Para cada $\mu = 1, 2, ..., p$, a partir de la pareja $(\mathbf{x}^\mu, \mathbf{y}^\mu)$ se construye la matriz: $[\boldsymbol{x}^\mu \otimes (\boldsymbol{y}^\mu)^t]_{mxn}$, donde m y n son la dimensión de los vectores $\boldsymbol{x}$ y $\boldsymbol{y}$, respectivamente.

Paso 2. Se aplica el operador binario máximo $\vee$ a las matrices obtenidas en el paso 1 si la memoria es de tipo *Máx*, si es de tipo *Mín* entonces se aplica el operador binario mínimo $\wedge$, como se muestra a continuación:

$$\mathbf{V} = \bigvee_{\mu=1}^{p} [\boldsymbol{x}^\mu \otimes (\boldsymbol{y}^\mu)^t] \quad \text{y} \quad \mathbf{\Lambda} = \bigwedge_{\mu=1}^{p} [\boldsymbol{x}^\mu \otimes (\boldsymbol{y}^\mu)^t]$$

Fase de Recuperación.

El objetivo de esta fase es recuperar un patrón $\mathbf{y}^\omega$ a partir de un patrón $\mathbf{x}^\omega$ cuando éste último se le presenta a la memoria asociativa. El operador a utilizar en esta fase es β. Si en la fase de aprendizaje se creó una memoria de tipo *Máx*, entonces el patrón $\mathbf{x}^\omega$ operará con la matriz $\mathbf{V}$ junto con el operador *Mín* $\wedge$, por otro lado, si se aprendió con una memoria *Mín*, entonces en la recuperación se operará el patrón $\mathbf{x}^\omega$ con la memoria $\mathbf{\Lambda}$ utilizando el operador *Máx* $\vee$, de la forma siguiente:

$$\left(\mathbf{V} \Delta_\beta x^\omega\right)_i = \bigwedge_{j=1}^{n} \beta\left(v_{ij}, x_j^\omega\right) \quad \text{ó} \quad \left(\mathbf{\Lambda} \nabla_\beta x^\omega\right)_i = \bigvee_{j=1}^{n} \beta\left(\lambda_{ij}, x_j^\omega\right)$$

Código Johnson-Möbius Modificado

Las MA α-β *máx* son inmunes al ruido aditivo y las memorias *mín* al ruido sustractivo pero ninguna es capaz de manejar el ruido mezclado, es por eso que es necesario codificar los patrones antes de realizar la asociación. El código Johnson-Möbius modificado ha mostrado ser una buena opción para esto.

El código Johnson-Möbius es un código binario en el que sólo se permite el cambio de un bit al pasar de un número al siguiente [7], y los bits cambiados permanecen hasta completar el ciclo y el cambio se inicia en el mismo extremo de cada sitio. Para representar un número decimal n en el código Johnson-Möbius, son necesarios $n/2$ bits si n es par y $(n+1)/2$ si n es impar.

A continuación se muestra un ejemplo utilizando el código original y el modificado.

Sea el conjunto $r = \{26, 2, 0, 5, 15\} \subset \mathrm{R}$

Paso 1. Como 26 es número par, entonces no es necesario sumarle 1.

Paso 2. Se divide $r_{máx} / 2 = 13$.

Paso 3. Si $r_i < r_{máx}/2$, entonces se generan $r_{máx}/2 - r_i$ ceros y se agregan r_i unos. De lo contario, se generan $r_{máx} - r_i$ unos y se agregan $r_i - r_{máx}/2$ ceros. El resultado se muestra en la Tabla 2.

Ahora se presenta un ejemplo de codificación Johnson-Möbius modificado [8]. Para el mismo conjunto de números:

> Para cada número r_i del conjunto r, se generan $r_{máx} - r_i$ ceros concatenados con r_i unos. El resultado se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Codificación Del Conjunto {26, 2, 0, 5, 15} mediante Los Códigos J-M Y J-M Modificado.

Decimal	J-M	J-M Modificado
26	1111111111111	1111111111111111111111111111
2	1100000000000	0000000000000000000000000011
0	0000000000000	0000000000000000000000000000
5	1111100000000	0000000000000000000000011111
15	0011111111111	0000000000001111111111111111

Multi-Memorias Alfa-Beta

En el diseño de una MA, se crea una memoria por cada conjunto de patrones asociados. En el caso de un multi-memoria, el conjunto de patrones asociados es dividido para crear varias memorias que finalmente operaran como una sola memoria. Antes de describir el diseño de la memoria se debe definir lo siguiente.

Sean $A = \{0,1\}$, n, $p \in Z^+$, $\mu \in \{1, 2,...p\}$, $i \in \{1, 2,..., p\}$ y $j \in \{1, 2,...n\}$, y sean $\boldsymbol{x} \in A^n$ y $\boldsymbol{y} \in A^p$ vectores de entrada y salida, respectivamente. A partir de estos vectores es posible construir el conjunto fundamental expresado por $\{(x^\mu, y^\mu) \mid \mu = 1, 2, \ldots, p\}$ de acuerdo con el algoritmo de memoria heteroasociativa Alfa-Beta tipo *Min*.

Fase de Aprendizaje

Para construir a partir de un solo conjunto fundamental varias matrices de aprendizaje, en lugar de sólo una, es necesario dividir cada patrón de entrada x^μ en q particiones, generando así q vectores de entrada n/q-dimensionales y por lo tanto q memorias asociativas. Para cada $\mu \in \{1, 2, ..., p\}$ a partir de la pareja ordenada (x^μ, y^μ) se aplica la *operación de particionamiento vectorial* a cada uno de los vectores x^μ de las p parejas ordenadas. Por lo que el nuevo conjunto fundamental puede ser expresado como sigue:

$$\{(p(x^\mu, q), y^\mu) \mid \mu = 1, 2, \ldots, p\}$$

Aplicando el operador de particionamiento el conjunto fundamental queda como sigue:

$$\{(\{x^{\mu 1}, x^{\mu 2}, \ldots, x^{\mu q}\}, y^\mu) \mid \mu = 1, 2, \ldots, p\}$$

y por distributividad

$$\{(x^{\mu 1}, y^\mu), (x^{\mu 2}, y^\mu), \ldots, (x^{\mu q}, y^\mu) \mid \mu = 1, 2, \ldots, p\}$$

Ahora, a partir de las parejas $(x^{\mu 1}, y^\mu)$ se construyen las q matrices: $[y^\mu \boxtimes (x^{\mu l})^t]_{mx\left(\frac{n}{q}\right)}$

Se aplica el operador binario máximo ∧ a las matrices obtenidas si lo que se desea es construir una memoria *máx*, y se aplica el operador mínimo ∧ si se va a construir una memoria *mín*, de la siguiente manera:

$$\mathbf{V}^l = \bigvee_{\mu=1}^{p} [y^\mu \boxtimes (x^{\mu l})^t]_{mx(\frac{n}{q})} \quad \text{y} \quad \mathbf{\Lambda}^l = \bigwedge_{\mu=1}^{p} [y^\mu \boxtimes (x^{\mu l})^t]_{mx(\frac{n}{q})}$$

donde $\mathbf{V}^l$ y $\mathbf{\Lambda}^l$ representan la *l*-ésima memoria *máx* y *mín*, respectivamente.

Fase de Recuperación

Al igual que en la construcción de las matrices de aprendizaje, para la fase de recuperación es necesario dividir en *q* particiones el patrón que se presentará a las *q* memorias.

Paso 1. Al presentarse un patrón x^ω, con $\omega \in \{1, 2,...p\}$ a la multimemoria heteroasociativa Alfa-Beta, lo primero es aplicar el operador de particionamiento al vector x^ω. De esta forma el vector quedará dividido en *q* nuevos vectores.

$$p(x^\omega, q) = \{ x^{\omega 1}, x^{\omega 2}, \ldots, x^{\omega q}, \}$$

Ahora, para cada una de las *q* matrices y particiones del vector, se realiza la fase de recuperación del algoritmo de las memorias heteroasociativas Alfa-Beta tipo *máx* con la operación Δ_β y si la memoria es tipo *mín* se realiza con la operación ∇_β, cualquiera de los dos resultados se asigna al vector $z^{\omega l}$.

$$z^{\omega l} = \mathbf{V}^l \Delta_\beta x^{\omega l} \text{ ó } z^{\omega l} = \mathbf{\Lambda}^l \nabla_\beta x^{\omega l}$$

Una vez que se lleve a cabo este procedimiento se obtendrán *q* vectores resultantes, uno por cada una de las matrices de aprendizaje.

Paso 2. Una vez que se tiene el vector columna z^ω, para una memoria tipo *máx*, es necesario construir el *vector suma máx* **s**, el cual tiene en su *i*-ésima componente la suma de las componentes de la *i*-ésima fila de la matriz **V**:

$$\boldsymbol{s}_i = \sum_{j=1}^{n} T_j$$

donde $T \in B^n$ y las componentes de *T* se definen así:

$$T_i = \begin{cases} 1 & \leftrightarrow \quad v_{ij} = 1 \\ 0 & \leftrightarrow \quad v_{ij} \neq 1 \end{cases}$$

$\forall j \in \{1, 2, \ldots, n\}$, por lo tanto, la correspondiente y^ω está dada por:

$$y_i^\omega = \begin{cases} 1 \text{ si } s_i = \bigvee_{k \in \theta} s_k \ \wedge \ z_i^\omega = 1 \\ 0 \qquad\qquad\qquad\quad en\ otro\ caso \end{cases}$$

donde $\theta = \{i \mid z_i^\omega = 1\}$.

Para el caso en el que se utilizó una memoria *mín* en la fase de aprendizaje, en la fase de recuperación es necesario construir un *vector suma mín* **r**, el cual tiene en su *i*-ésima componente el número de ceros de la *i*-ésima fila de la matriz **Λ**.

$$r = \sum_{j=1}^{n} \backsim T_j$$

donde $T \in B^n$ y las componentes de *T* se definen así:

$$T_i = \begin{cases} 0 & \leftrightarrow \quad \lambda_{ij} = 0 \\ 1 & \leftrightarrow \quad \lambda_{ij} \neq 0 \end{cases}$$

$\forall j \in \{1, 2, \ldots, n\}$, por lo tanto, la correspondiente y^ω está dada por:

$$y_i^\omega = \begin{cases} 0 \text{ si } r_i = \bigwedge_{k \in \theta} r_k \ \wedge \ z_i^\omega = 0 \\ 1 \qquad\qquad\qquad\quad en\ otro\ caso \end{cases}$$

donde $\theta = \{i \mid z_i^\omega = 0\}$.

Resultados experimentales

En esta sección se describirá la base de datos utilizada en este trabajo. Posteriormente, se describirán los experimentos realizados y, finalmente, se presentarán los resultados.

Base de Datos GENES

Esta base de datos se encuentra disponible en la página de KDD 2001 [3]. El objetivo de este trabajo es la localización en la célula de un gen activo. Son 15 los lugares en donde se puede encontrar este gen y son: pared celular, citoplasma, citoesqueleto, endosoma, ER, ambiente extracelular, Golgi, membrana integral, partícula grasa, mitocondria, núcleo, peroxisoma, membrana plasmática, vesícula de transporte y vacuola.

La base de datos contiene 862 registros para entrenamiento y 381 para prueba. Cada registro o gen tiene seis atributos: Essential, Class, Complex, Phenotype, Motif y Chromosome. Los valores que puede tomar Chromosome van de 1 a 16. Los otros cinco atributos están compuestos de diversos conjuntos. Por ejemplo, Class es un subconjunto de 24 categorías de proteínas, el atributo Complex indica los miembros de las 56 proteínas complejas codificadas por genes individuales. Phenotype y Motif asigan un gen a uno de los 11 fenotipos o 351 tipos, respectivamente.

La base de datos fue depurada debido a que algunos registros no tenían la información completa de los atributos, o los registros estaban repetidos o asignados a una misma clase (localización). El número de datos en el conjunto de entrenamiento fue de 784, mientras que el conjunto de prueba permaneció igual.

Experimentos

Cada uno de los seis atributos es codificado, por separado, mediante el código Johnson-Möbius. Después, se concatenan las codificaciones individuales para formar un solo vector que representará a cada registro. Esto se ilustra en la Fig. 1.

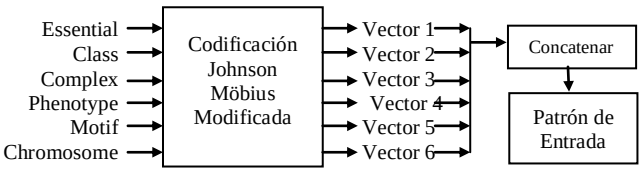


Fig. 1. Proceso de creación de los vectores de entrada

Una vez codificados todos los patrones de entrada, se eligen varios conjuntos de aprendizaje, aleatoriamente. Del conjunto total de entrenamiento se tomó desde el 10% hasta el 100%, del conjunto de pruebas se tomaron todos los registros. Con los diferentes conjuntos de aprendizaje se entrenan las Multi-Memorias siguiendo el algoritmo de la fase de aprendizaje descrito en la Sección 3. Cada una de las memorias entrenada con cada conjunto de aprendizaje es probada con todos los registros del conjunto de prueba.

Para cada porcentaje se generaron, aleatoriamente, 100 conjuntos de aprendizaje y se probó con los 381 registros de prueba. Por cada una de las 100 pruebas se tomaron los 10 mejores resultados, los cuales se muestran en la Tabla 3.

Cuando se toma el 100% del conjunto de aprendizaje, el error que se obtiene es de 2.01, lo cual nos dice que la efectividad del modelo utilizado en este trabajo es de 97.99%. Esta efectividad nos indica que de 748 instancias, las Multi-Memorias Alfa-Beta fallaron en reconocer sólo 14.

En la Tabla 4 se muestran algoritmos de clasificación con diferentes enfoques. Estos trabajos utilizan bases de datos para la predicción de la localización de proteínas diferentes a la utilizada para esta propuesta.

Hayashi *et al.*, quienes utilizan la base de datos GENES, obtuvieron una efectividad del 72.5%. Nuestro modelo sobrepasó este resultado con un 25.49%. De la tabla 3, podemos observar que un resultado similar es obtenido por las *Multi-Memorias Alfa-Beta* cuando se utiliza el 30% del total de los registros de entrenamiento.

En la Tabla 4 se pueden observar algunos de los algoritmos de clasificación utilizados en la predicción de la localización de proteínas utilizando diferentes bases de datos. La efectividad de estos enfoques va desde el 81% hasta el 97%. El enfoque propuesto en este trabajo, los modelos asociativos Alfa-Beta, presenta un 97.99% de efectividad superando en casi el 1% al algoritmo que presenta el mejor resultado.

La baja efectividad presentada por algunos de los algoritmos es razonable debido a que las bases de datos utilizadas manejan grandes cantidades de información y el número de atributos es muy extenso lo que hace que la tarea de clasificación se vuelva compleja.

Tabla 3. Resultados del error obtenido al utilizar los diferentes porcentajes del conjunto de aprendizaje.

Prueba No.	Error obtenido utilizando los diferentes porcentajes								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
1	30	31	19	20	20	9	8	7	2.28010
2	55	23	23	16	16	15	10	8	2.28013
3	19	32	21	25	25	10	7	5.3	2.28014
4	38	25	19	23	22	9	11	6.4	2.28012
5	27	30	23	15	15	13	7	8.2	2.28011
6	33	32	21	17	17	9	7	5.6	2.28014
7	35	46	19	13	14	11	8	8.7	2.28013
8	15	32	23	12	12	10	8	7.9	2.28010
9	23	30	21	16	15	9	9	7.2	2.28011
10	26	30	19	15	15	10	8	5.1	2.28013
Promedio	***30.1***	***31.1***	***20.8***	***17.2***	***16.1***	***10.5***	***8.3***	***6.94***	***2.28***

Tabla 4. Resultados de efectividad obtenidos por diferentes enfoques de clasificación que utilizan bases de datos distintas a la usada en este trabajo.

Modelo	Predicción de Localización de	Año	Efectividad (%)
Basado en Conocimiento [9]	Gram-Negative bacteria	1991	83
Neural Networks [10]	Proteínas basados en la composición de aminoácidos	1998	82
Discriminante de covarianza aumentado [11]	Proteínas basados en la composición de aminoácidos	2000	85.4
PSORT-B [12]	Gram-Negative bacteria	2003	97
Proteome Analyst [13]	Proteínas de plantas, animales, fungi, bacteria Gram negativa y positiva	2004	81-94
SVM [14]	Gram-Negative bacteria	2005	89.8
SVM [15]	Proteínas basados en la composición de aminoácidos	2007	90.96
SVM [16]	Composición de n-péptidos	2007	91.3
AdaBoost Learner [17]	Proteínas basados en la composición de aminoácidos	2008	80.12
SVM [18]	Proteínas en células eurocarioticas	2009	76.5
Ontología [19]	Proteínas de plantas	2010	86

Discusión

El modelo de las multi-memorias asociativas Alfa-Beta fue aplicado en este trabajo para la localización de proteínas dentro de la célula y se obtuvo una efectividad del 97.99%. El algoritmo de *k*-NN que utilizó la misma base de datos que la manejada en esta propuesta, mostró una efectividad en la localización del 72.5%, lo cual nos indica que nuestro modelo es mejor. Es preciso aclarar que, aunque el trabajo de Hayashi *et al* es del 2001, el algoritmo *k*-NN sigue siendo uno de los métodos más efectivos en la actualidad. Sin embargo, en la Tabla 4 se presentan otros trabajos que realizan la misma tarea nosotros, pero no utilizan la misma base de datos. Aún así, nuestros resultados son comparables con estos métodos porque las bases de datos tienen miles de registros y decenas de atributos, lo que resulta en una complejidad parecida.

Analizando todos los resultados obtenidos, podemos observar, de la tabla 4, que la mejor efectividad la obtiene el sistema PSORT-B con un 97%. Este sistema está compuesto de varios módulos los cuales implementan algoritmos de probabilidad y de inteligencia artificial como las máquinas de soporte vectorial (SVM). Nuestra propuesta rebasa este resultado con un 0.99%.

Por otro lado, el enfoque asociativo utilizado en este trabajo es diferente al utilizado por los métodos clásicos de inteligencia artificial como: probabilístico, SVM o redes neuronales.

REFERENCIAS

[1] Lodish H., Berk A., Matsudaira P., Kaiser C.A., Krieger M., Scott M.P., Zipursky L. and J. Darnell, *Molecular Cell Biology*, p. 59, Fifth Edition.

[2] Feng Z.P., "An overview on predicting the subcellular location of a protein", *In Silico Biology*, 2, 2002.

[3] Hayashi H., Sese J. and Morishita S.. Task: Localization in KDD Cup 2001 report. Disponible: http://pages.cs.wisc.edu/~dpage/kddcup2001/

[4] Román I., "Aplicación de los Modelos Asociativos Alfa-Beta a la Bioinformática", Tesis de Maestría, Centro de Investigación en Computación, Ciudad de México, México, 2007.

[5] Román I., López I. and Yáñez-Márquez C., "Classifying Patterns in Bioinformatics Databases by Using Alpha-Beta Associative Memories", *Stu. in Comp. Int.*, 224, 187-210, 2009.

[6] C. Yáñez, "Memorias Asociativas basadas en relaciones de orden y operadores binarios", Tesis doctoral, Centro de Investigación en Computación, Ciudad de México, México, 2002.

[7] M. Mano, *Diseño digital*. Prentice Hall pp. 16-26 y 292-294, 2001.

[8] R. Flores, "Memorias Asociativas Alfa-Beta basadas en el código Johnson-Möbius modificado", Tesis de Maestría, Centro de Investigación en Computación, Ciudad de México, México, 2006.

[9] K. Nakai, M. Kanehisa. "Expert System for predicting protein localization sites in gram-negative bacteria", *Proteins*, 11(2), 95-110, 1991.

[10] A. Reinhardt, T. Hubbart. "Using neural networks for prediction of the subcellular locations proteins", *Nucleic Acids Research*, 6(9), 2230-2236, 1998.

[11] K-C. Chou. "Prediction of protein subcellular locations by incorporating quasy-second-order effect", *Biochemical Biophysical Res Commun*, 278, 477-483, 2000.

[12] .L. Gardy, C. Spencer, K. Wang, M. Ester, G.E. Tusnády, I. Simon, S. Hua, K. deFays, C. Lambert, K. Nakai and F.S. Brinkman, "PSORT-B: Improving protein subcellular localization prediction for Gram-negative bacteria", *Nucleic Acids Res.* 31-13, 3613-3617, 2003.

[13] Z. Lu, D. Szafron, R. Greiner, D.S. Wishart, B. Poulin, J. Anvik, C. Macdonell, R. Eisner. "Predicting subcellular localization of proteins using machine-learned classifiers", *Bioinformatics*, 20(4), 547-556, 2004.

[14] J. Wang, W-K. Sung, A. Krishnan, K-B. Li. "Protein subcellular localization prediction for Gram-negative bacteria using amino acid subalphabets and a combination of multiple support vector machines", *BMC Bioinformatics*, 6(174), 1-10, 2005.

[15] T. Tamura, T akutsu. "Subcellular localization predictions of proteins using support vector machines with alignment of block sequences utilizing amino acid composition", *BMC Bioinformatics*, 8(466),1-14, 2007.

[16] H. Ogul, E-Ü. Mumcuoglu. "Subcellular Localization Prediction with New Protein Encoding Schemes", *IEEE/ACM TRANS COMP BIO and BIOINF*, 4(2), 227-232, 2007.

[17] Y-H. Jin, B. Niu, K-Y. Feng, W-C. Lu, Y-D. Cai, G-Z. Li. "Predicting subcellular localization with AdaBoost Learner", *Protein Pept Lett*, 15(3), 286-289, 2008.

[18] R-Q. Xiao, Y-Z. Guo, Y-H. Zeng, H-F. Tan, X-M. Pu, M-L. Li. "Using position specific scoring matrix and autocovariance to predict protein subnuclear localization", J. Biomedical Science and Engineering, 2, 51-56, 2009.

[19] K-C. Chou, H-B. Shen. "Plant-mPloc: A top-down strategy to augment the power for predicting plant protein subcellular localization", *PLoS ONE*, 5:6, 2010.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 18. Volumen 4(5), 11 páginas.

CONTROLADOR MODULAR SINTONIZADO CON ALGORITMO GENÉTICO

Jorge Cristopher Juárez García[1], Hugo Gámez Cuatzin[2], Hugo Jiménez Hernández[3].

Resumen

Es sabido que los controladores PID se emplean en gran parte del proceso de automatización, buscando métodos alternativos para sintonizar de manera eficiente los controladores. Se propone sintonizar con la técnica de AG (Algoritmo Genético) el controlador, siendo un método estocástico de búsqueda global que emula el proceso de evolución natural. Los algoritmos genéticos han demostrado ser capaces de localizar las zonas de alto desempeño en dominios complejos sin experimentar las dificultades asociadas con óptimos falsos como puede ocurrir con técnicas de gradiente descendiente. La finalidad del algoritmo genético es mediante el error mínimo calcular las ganancias óptimas K_p, K_i y K_d para el controlador con las que la respuesta del sistema será la idónea. Se utiliza Matlab para probar el modelo del sistema y la implementación del algoritmo, resultando en un mejor desempeño del controlador.

Palabras clave: Algoritmo genético, control, optimización de parámetros, PID.

Summary

It is known that PID controllers are used in much of the automation process, seeking alternative methods to efficiently tune the controllers. It is proposed to tune the controller by using the technique of GA (Genetic Algorithm) this is a stochastic global search method that mimics the natural process of evolution. Genetic algorithms have proven themselves capable of solving many large complex problems where other methods have experienced difficulties as locating high performance areas in complex domains without experiencing the difficulties associated with false optimum as may occur with gradient descent techniques. The purpose of the genetic algorithm is to use the minimal error to compute the optimal gains K_p, K_i and K_d for the controller thus the response of the system will be ideal. Matlab is used to test the system model and the implementation of the algorithm, resulting in a better control performance.

Keywords: Genetic Algorithm, Control, Optimization of Parameters, PID.

Introducción

Los Algoritmos Genéticos (AGs) son métodos adaptativos que pueden usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización. Están basados en el proceso genético de los organismos vivos. A lo largo de las generaciones, las poblaciones evolucionan en la naturaleza de acorde con los principios de la selección natural y la supervivencia de los más fuertes, postulados por Darwin. Por imitación de este proceso, los Algoritmos Genéticos son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real. La evolución de dichas soluciones hacia valores óptimos del problema depende en buena medida de una adecuada codificación de las mismas [3].

Un algoritmo genético consiste en una función matemática o una rutina de software que toma como entradas a los ejemplares y retorna como salidas cuáles de ellos deben generar descendencia para la nueva generación.

[1] Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, Av. Playa Pie de la Cuesta No.702 Desarrollo San Pablo, C.P. 76130 Santiago de Querétaro, Qro. Tel. (442)211-9800. E-mail: jcjuarez@cidesi.edu.mx
[2] Idem. Tel. (442)211 9800 Ext. 1353. E-mail: hgamez@cidesi.mx
[3] Idem. Tel. (442)211 9800 Ext. 1330. E-mail: hugo.jimenez@cidesi.mx

Versiones más complejas de algoritmos genéticos generan un ciclo iterativo que directamente toma a la especie (el total de los ejemplares) y crea una nueva generación que reemplaza a la antigua una cantidad de veces determinada por su propio diseño. Una de sus características principales es la de perfeccionar su propia heurística en el proceso de ejecución, por lo que no requiere largos períodos de entrenamiento especializado por parte del ser humano, principal defecto de otros métodos para solucionar problemas, como los Sistemas Expertos.

El controlador PID se emplea en todas las facetas de la automatización industrial, el alcance de aplicación para el controlador PID es desde la pequeña industria hasta la industria de alta tecnología como las refinerías y la construcción de buques. Así trabajar con controladores PID es un trabajo rutinario, por lo tanto ¿cómo optimizar el controlador PID? Debemos sintonizar el PID como usualmente utilizando técnicas clásicas que se nos han enseñado como el método Ziegler – Nichols? ¿O podemos hacer uso de la fuerza del mundo de la computación sintonizando el PID de una manera estocástica?

Controlador Modular.

Se utiliza AG en un controlador en el cual existan tres controladores para tres motores distintos, hidráulico, eléctrico y diesel, con la finalidad de poder hacer el cambio a cualquiera de estos controladores por medio del software de programación del mismo.

La Fig. 1 muestra el diagrama general de control propuesto del controlador modular, se cuenta con una señal de referencia para establecer la velocidad requerida a la salida del sistema, ésta señal es introducida en los diferentes módulos correspondientes al motor, según sea el caso del módulo habilitado.

Posteriormente para el control de cada uno de los motores se requiere medir la retroalimentación de la variable a controlar, en este caso las revoluciones y el torque, así mismo es necesario monitorear algunas señales específicas de cada uno de los motores, para asegurar el correcto funcionamiento en todo momento.

En este trabajo solo se muestra el sistema hidráulico aunque se realiza el mismo procedimiento con los elementos restantes del sistema a controlar.

Sistema hidráulico, modelo de la máquina:

Se representa una máquina hidráulica como un modelo basado en las hojas de datos. El modelo toma en cuenta la dirección del flujo de energía y simula la máquina, en el modo motor. La eficiencia de la máquina es variable, y se puede establecer de acuerdo con los datos experimentales provistos en la hoja de datos o catálogo.

Con respecto a la relación entre la señal de control y el desplazamiento, éste se realiza mediante el desplazamiento máximo y la carrera. El desplazamiento se supone que es linealmente dependiente de la posición de miembro de control

La máquina de desplazamiento variable se representa mediante las siguientes ecuaciones:

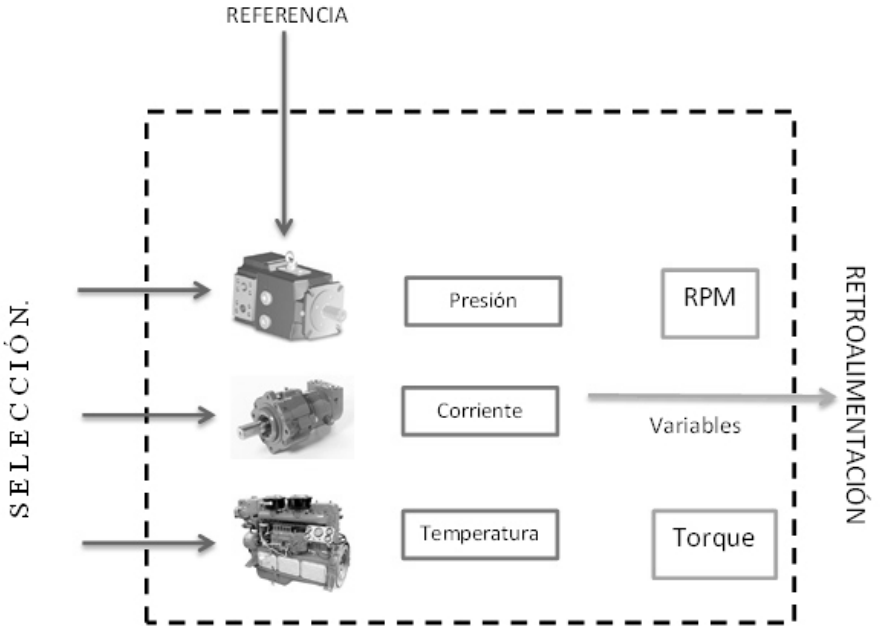


Fig. 1 Esquema del controlador modular.

$$q = D \cdot \omega + q_L \tag{1}$$

$$\begin{aligned} q &= D \cdot \omega + q_L \\ T &= D \cdot p - k_m \cdot T_{fr} \end{aligned} \tag{2}$$

$$D = \begin{cases} \frac{D_{max}}{x_{max}} \cdot x \\ D(x) \end{cases} \tag{3}$$

$$P = P_A - P_B \tag{4}$$

donde:

q	-	Tasa de flujo de la máquina (m^3/s).
P	-	Presión diferencial a través de la máquina (Pa).
P_A , P_B	-	Presión entre las terminales del bloque (Pa)
D	-	Desplazamiento instantáneo de la máquina
D_{max}	-	Desplazamiento máximo de la máquina (m^3/rad)
x	-	Desplazamiento del miembro de control (mm)
x_{max}	-	Desplazamiento máximo del miembro de control (mm)
T	-	Torque en el eje de la máquina. (N·m)
ω	-	Velocidad angular en el eje de la máquina (rad/s)
q_L	-	Flujo de fuga (m^3/s)
T_{fr}	-	Fricción del torque (µN)

Para obtener la función de transferencia se tiene una señal de respuesta del sistema la cual esta muestreada con un paso de tiempo no lineal, en este caso exponencial, la cual debe ser transformada a un muestreo de tiempo discreto para su mejor interpretación y poder trabajar con ella en posteriores análisis, para lo cual se toman los puntos muestreados y se aproxima con el método de Newton.

Obteniendo la función de transferencia de segundo orden.

$$G(s) = \frac{43.589}{.005086781088s^2 + .05036s + 1}$$

Y la respuesta ante una entrada escalón del sistema hidráulico [4] se muestra en la Fig. 2.

Una vez obtenida la función de transferencia del sistema y su respuesta ante una entrada escalón [12], se procede a realizar la sintonización mediante algoritmo genético.

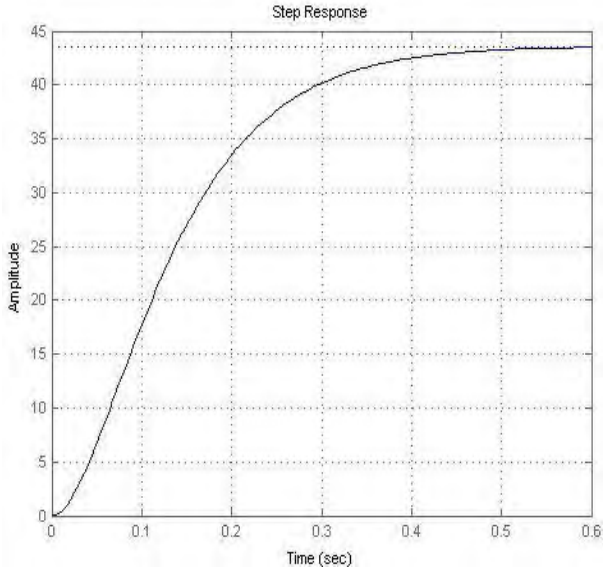


Fig. 2. Respuesta ante escalón unitario del sistema hidráulico.

Usando Algoritmo Genético.

Algoritmo genético, como una forma matemática para la optimización, puede aplicarse para lograr una buena sintonización de controladores PID, con referencia a una señal escalón de entrada todo el sistema va a generar una respuesta de salida.

El papel del controlador PID es conducir esta respuesta de salida dentro de las especificaciones del usuario, obviamente la configuración de los parámetros del controlador PID deben ser ajustados a fin de satisfacer el mayor número de requisitos posibles. La optimización de los controladores PID requiere en primer lugar el objetivo de diseño y luego codificar los parámetros que desea buscar, así el operador genético se ejecuta hasta que la condición de paro se cumple. Los valores de decodificación del último cromosoma son parámetros optimizados del controlador PID, para obtener el control óptimo, se utilizan las siguientes implementaciones del algoritmo genético.

AG no sólo manipula una posible solución a un problema sino un conjunto de posibles soluciones, a esto se le conoce como población, a la posible solución dentro de la población se le llama "cromosoma".

Estos cromosomas son las representaciones codificadas de todos los parámetros de la solución, cada uno de los cromosomas se compara con otros cromosomas en la población y la calificación otorgada de ajuste indica el éxito de éste cromosoma [1].

La finalidad del algoritmo genético es mediante el error mínimo poder encontrar las ganancias óptimas K_p, K_i y K_d para el controlador con las que la respuesta del sistema será la idónea (Fig. 3).

La función esencial de un control de lazo cerrado es reducir el error, $e(t)$ entre cualquiera de sus variables y el valor requerido a cero tan rápido como sea posible.

Por lo tanto cualquier criterio usado para medir la calidad de respuesta del sistema debe tomar en cuenta la variación de e en todo el rango de tiempo. Para la validación presentada, se ha optado por utilizar el error cuadrático medio (RMSE) definido como (5).

$$RMSE = \sqrt{\sum \frac{(\tilde{x}-x)^2}{N}} \tag{5}$$

donde: $\tilde{x}$ - Es el valor esperado.
x - Es el valor observado.
N - Es el número de muestras.

El error medio cuadrático nos da la medida de las diferencias en promedio entre los valores esperado y pronosticado [4]. La diferencia estimada $(\tilde{x} - x)$ a veces será positiva (cometiendo un error por exceso) y otras negativa (cometiendo un error por defecto), por lo tanto, ésta diferencia es una variable aleatoria que nos informa el error que se está cometiendo. Con el fin de obtener una medida global de este error se elimina el signo de los errores considerando la diferencia al cuadrado. De esta forma, si el error cuadrático medio es un número pequeño, podríamos asegurar que el error que estamos cometiendo en la estimación es pequeño (en media) e inversamente, si el error es un número grande, cabe esperar que la estimación que se realiza no sea muy precisa.

Representación de parámetros:

Para la mayoría de aplicaciones de algoritmo genético a problemas de optimización, la técnica real de codificación se utiliza para representar una solución a un problema dado. En la aplicación real de codificación, cada cromosoma se codifica como un vector de números reales, de la misma longitud que el vector solución.

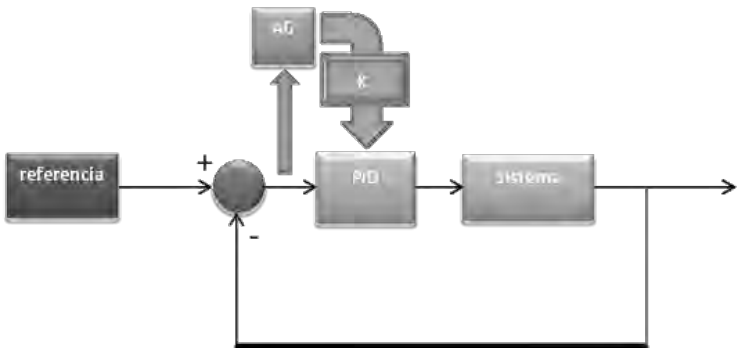


Fig. 3. Lazo de control con AG.

De acuerdo con los objetivos de control, deben diseñarse tres parámetros K_p, K_i y K_d de un controlador. Para un problema determinado con 3 variables de decisión, se adopta un vector real $[x_1, x_2, x_3]$ como un cromosoma para representar una solución al problema.

Para codificar las mejores soluciones, AG utilizará "operadores genéticos" u "operadores de la evolución" como cruce y mutación para la creación de nuevos cromosomas de los ya existentes en la población. Esto se logra, ya sea, por la fusión de los existentes en la población o mediante la modificación de cromosomas existentes.

El mecanismo de selección de los cromosomas padres toma en cuenta el grado de ajuste de los padres. Esto asegurará que la mejor solución tendrá una mayor posibilidad de procrear y donar sus características beneficiosas para sus descendientes

Inicialización:

Un algoritmo genético suele ser inicializado con una población al azar que consiste de entre 20 a 100 individuos. Esta población o también conocida como grupo de apareamiento suele ser representado por un número de valor real o una cadena binaria llamada cromosoma.

¿Qué tan bien un individuo realiza una tarea es medido y evaluado por la función objetivo? La función objetivo asigna a cada individuo un número correspondiente llamado ajuste (fitness). El ajuste de cada cromosoma se evalúa y se aplica la supervivencia del más apto.

En este proyecto, la magnitud del error será utilizada para evaluar el ajuste de cada cromosoma.

Codificación:

Inicializar un grupo de puntos codificados como se observa en Fig. 4 en S^n $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ de manera que cubra el rango de la función f[7].

Evaluación:

A cada uno de los cromosomas de la población se aplicará la función de aptitud, para saber qué tan viable es la solución que se está codificando.

En esta parte del algoritmo se evaluara el sistema, el lazo de control con la función de transferencia, siendo la entrada el vector $[k_p, k_i, k_d]$ obteniendo como salida un dato, el error RMSE, dependiendo de éste valor, determinara los cromosomas que son más aptos para continuar en la población y ser seleccionados.

Condición de término:

Condición de paro, que puede ser

a) Número máximo de iteraciones (generaciones)
b) Detener cuando no haya cambios en la población

Selección:

Después de saber la aptitud de cada cromosoma se procede a elegir los cromosomas que serán cruzados en la siguiente generación. Los cromosomas con mejor aptitud tienen mayor posibilidad de ser seleccionados.

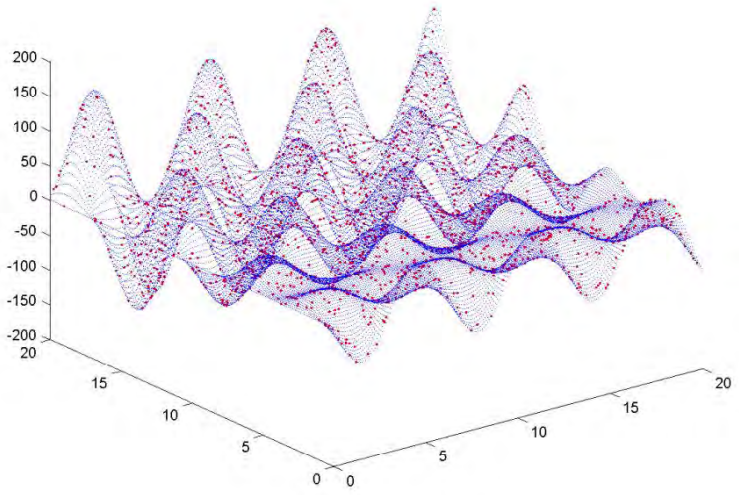


Fig. 4. Representación de puntos codificados en la función f.

Cruce:

Opera sobre dos cromosomas a la vez para generar dos descendientes donde se combinan las características de ambos cromosomas padres.

La mezcla de vectores consiste en combinar dos cadenas binarias b_1 y b_2. Una forma sencilla consiste en utilizar la parte baja de la cadena b_1 y la parte alta de $b_2$para conformar un nuevo vector, ver Fig. 5.

$$b_1 = 1100110101 \Rightarrow \underbrace{11001}_{b_1^1}\underbrace{10101}_{b_1^2}$$
$$b_2 = 1011100110 \Rightarrow \underbrace{10111}_{b_2^1}\underbrace{00110}_{b_2^2}$$

donde se obtienen los vectores

$$b_1^* = 1100100110 \Rightarrow \underbrace{11001}_{b_1^1}\underbrace{00110}_{b_2^2}$$
$$b_2^* = 1011110101 \Rightarrow \underbrace{10111}_{b_2^1}\underbrace{10101}_{b_1^2}$$

Fig. 5. Cruce entre elementos binarios.

Mutación:

Operador utilizado para evitar pérdida permanente de diversidad dentro de las soluciones.
Modifica al azar parte del cromosoma de los individuos, y permite alcanzar zonas del espacio de búsqueda que no estaban cubiertas por los individuos de la población actual.
Consiste en alterar aleatoriamente los valores de una cadena binaria dada, ver Fig. 6.

$$b_1 = 11010101010100101$$
$$b_1^* = 10010001000101101$$

Fig. 6. Mutación de la cadena binaria.

Reemplazo:

Se seleccionan los mejores individuos para conformar a la población de la generación siguiente.

Funcionamiento del Algoritmo Genético.

Para ejecutar la función de algoritmo genético se realizó la implementación [5] en MATLAB y para su funcionamiento requiere los siguientes parámetros: rango de valores de búsqueda para la ganancia proporcional, integral y derivativa, la resolución con la que se debe realizar la codificación para el algoritmo y el número de iteraciones o generaciones. Resultando un vector de dimensión tres:

$[kp, ki, kd]$, que contenga las ganancias óptimas para el controlador PID.

Se realiza un primer cálculo de las ganancias para el controlador, con una población inicial de 30, y sólo 2 generaciones. La solución encontrada para esta primera prueba fue la siguiente:

Durante la primera ejecución del algoritmo, se puede observar como durante el avance del algoritmo, las respuestas del sistema se van mejorando y en consecuencia minimizando el error de salida, aproximándose así en cada generación al mínimo óptimo.

Dependiendo del dominio asignado a cada ganancia, el algoritmo podrá encontrar al inicio valores para las ganancias K, en los cuales el sistema se vuelva inestable, obteniendo de esta forma un error muy grande, siendo desechados estos genes en la población siguiente a ser evaluada por el sistema ver Fig. 77.

Se puede modificar el número de generaciones y la población inicial con la cual el algoritmo debe funcionar, no se tendrán valores similares siempre que comienza el algoritmo debido a la naturaleza estocástica del mismo, los puntos muestreados de la población siempre se distribuyen de manera distinta sobre el espacio de soluciones, cada que se inicializa el algoritmo, pudiendo tener soluciones diferentes para cada corrida.

El resultado de la Fig. 8 al que converge el algoritmo, siendo éste el error mínimo determinado por las ganancias $kp = 0.3, ki = 1.64, kd = 0.45$ teniendo un error cuadrático medio de 0.0993.

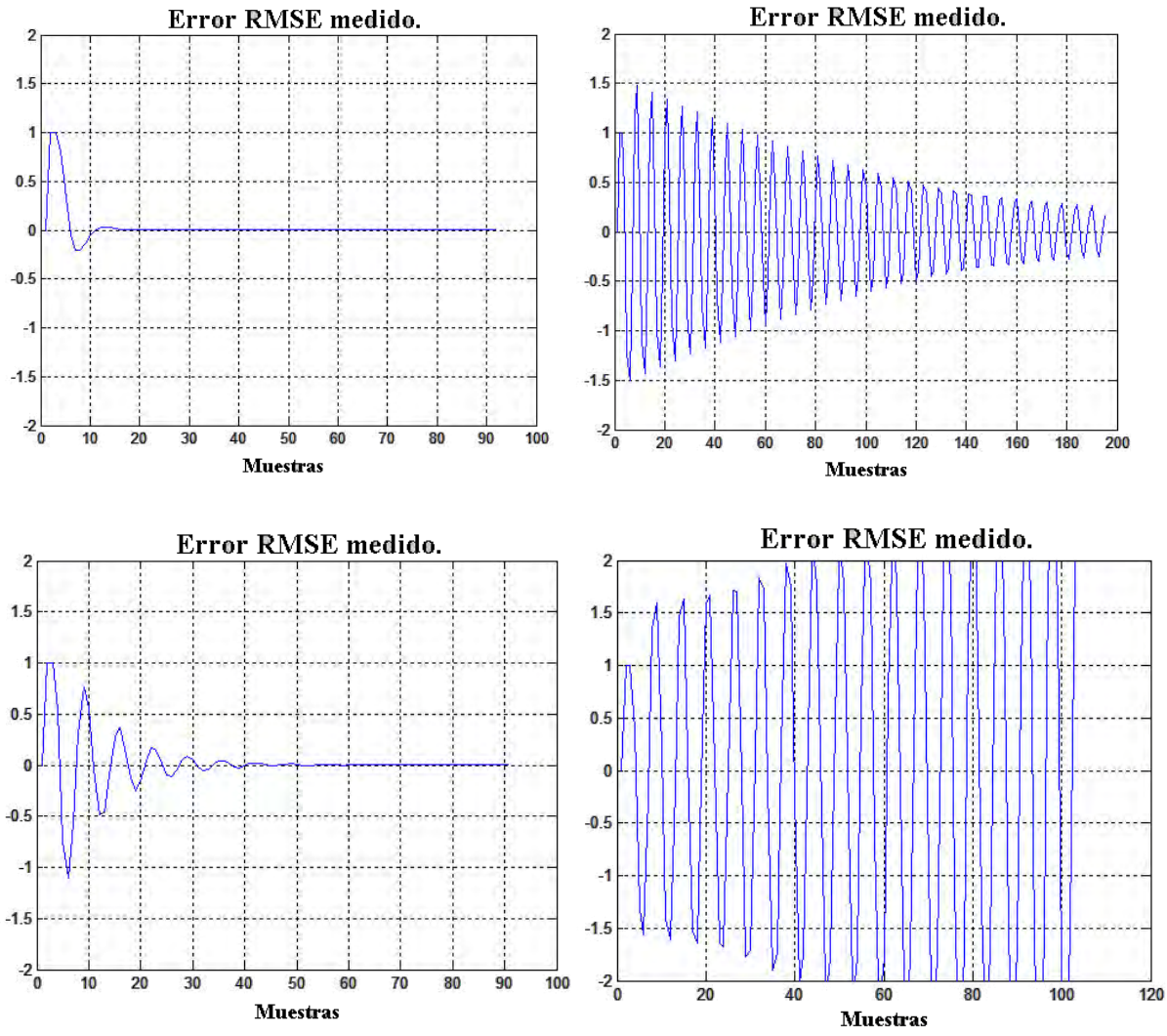


Fig. 7. Evolución del AG disminuyendo el error.

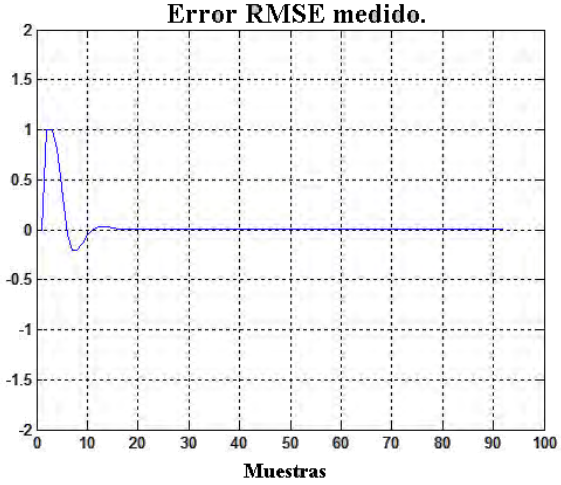


Fig. 8. Simulación del sistema con las ganancias obtenidas.

Modificando un parámetro del algoritmo (Fig. 7), en este caso aumentar las generaciones, se obtienen las siguientes ganancias para el controlador, $kp = 2.75, ki = 1.59, kd = 0.46$ con un error RMSE de 0.0992

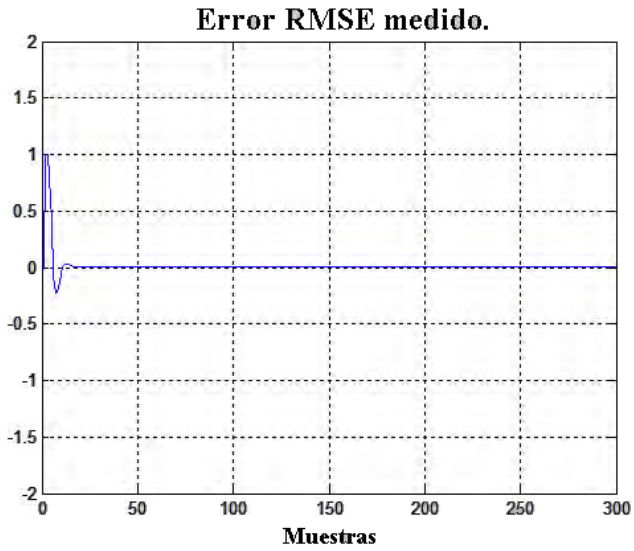


Fig. 7. Resultado del AG con más generaciones.

En otra prueba (Fig. 8), aumentando la población inicial se observa que en la primer generación existe una ocurrencia de un mayor número de puntos para los que el sistema a evaluar se vuelve inestable, obteniendo un error RMSE muy grande, siendo eliminados todos estos genes en la siguiente generación, teniendo una selección elitista en donde se escogen los mejores individuos de la población teniendo en cuenta su valor en la función de aptitud.

Quedando así valores pequeños de error, sin embargo es posible que en generaciones posteriores pueda llegar a existir algún gen que al evaluarlo en el sistema sea inestable, debido al operador genético de mutación en el sistema. Obteniendo los siguientes valores de ganancias, $kp = 1.42, ki = 2.31, kd = 0.42$ y el error 0.0995

Las muestras obtenidas con distintos casos de prueba muestran los siguientes resultados mostrados en la Fig. 91:

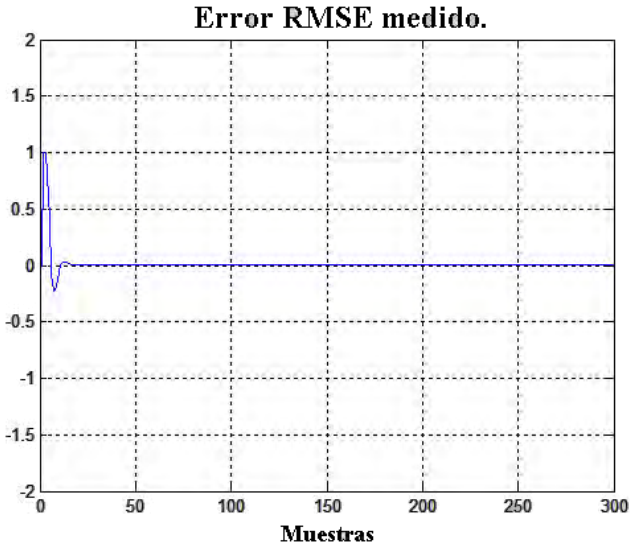


Fig. 8. Resultado del AG con más generaciones y población inicial.

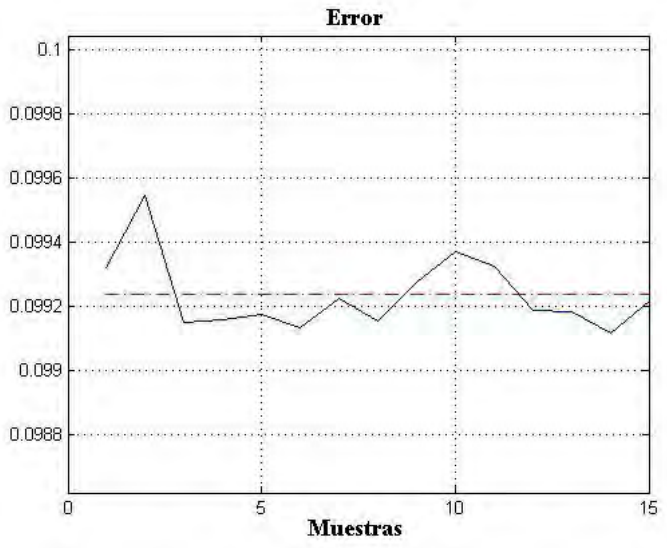


Fig. 9. Distribución de los resultados.

Las medidas de media y desviación estándar para el error fueron:

$$\mu = 0.099237633$$

$$\sigma = .0004803$$

Aplicando el cuarto momento sobre la media de los datos se obtiene una distribución centrada en la media con menos variaciones extremas.

La convergencia del método se muestra en la Fig. 10 en ella se aprecian partes en las que aparentemente no hay cambio en el error, esto es debido a que este se lleva acabo pero de manera muy pequeña como se muestra en la Fig. 113.

Comparación con la técnica Ziegler – Nichols.

Se compara la sintonización mediante AG y una técnica alternativa, Ziegler – Nichols y utilizando el mismo criterio de error para las dos técnicas se encuentra un menor error y mejor respuesta ante un escalón unitario mostrando los resultados en Fig. 124.

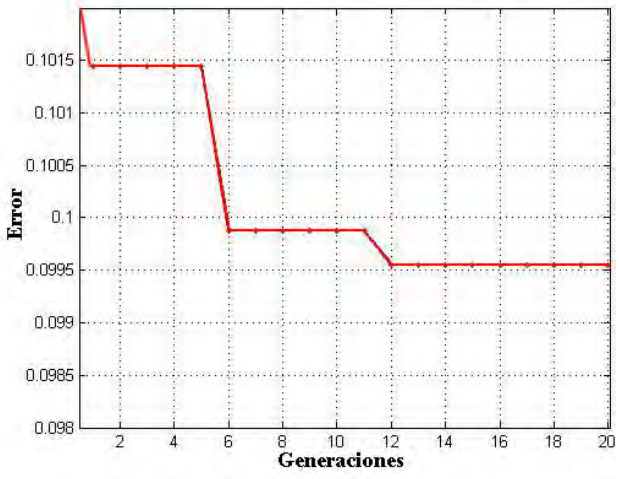


Fig. 10. Convergencia del algoritmo.

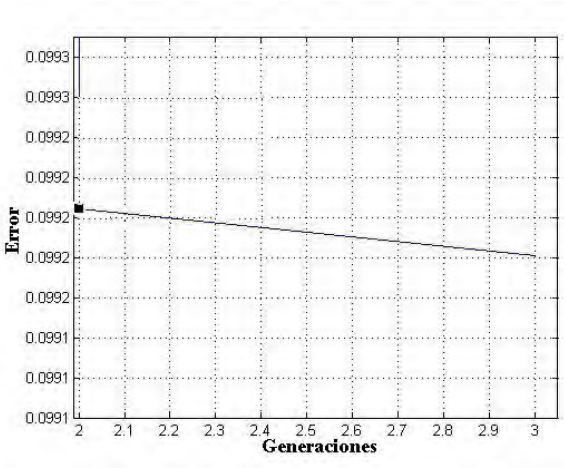
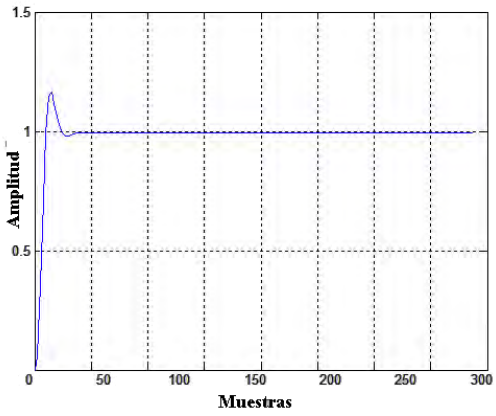


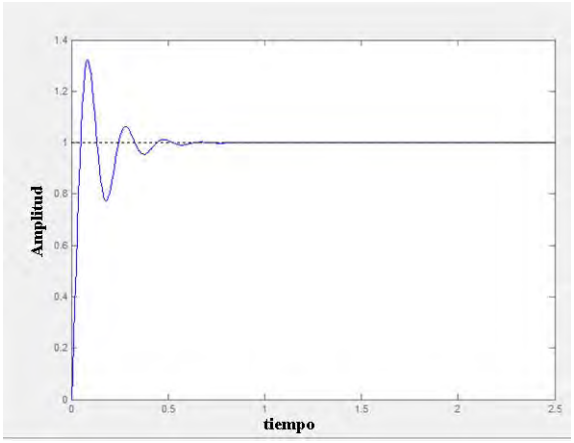
Fig. 113. Convergencia en partes aparentemente sin cambio.

Algoritmo Genético.



Error RMSE = .0992

PID Ziegler - Nichols Lugar de las raíces.



Error RMSE = .1043

Fig. 12 Comparación Ziegler – Nichols.

Conclusión

La implementación y simulación de sistemas hidráulicos utilizando software es fundamental en la predicción de su funcionamiento y permite asegurar que el sistema y sus componentes operarán de manera satisfactoria. Como se mostró con los resultados obtenidos, algoritmo genético es una buena herramienta para la sintonización de controladores, siendo mejor que las técnicas clásicas usadas para esta tarea, con la mejora, que el sistema a evaluar puede cambiarse, como en este caso en donde se aplica el mismo algoritmo a las diferentes plantas a controlar, el motor diesel y el eléctrico, teniendo en todas ellas resultados similares a los aquí mostrados, lo antes mencionado se debe a que algoritmo genético no depende del modelo de la planta a evaluar, sino de la respuesta del mismo ante las variables de entrada y descarta soluciones que no satisfagan la función de aptitud.

Así mismo, como se observa con la técnica Ziegler – Nichols se tiene un mayor sobre impulso, un tiempo de asentamiento mayor y el tiempo de subida es también un poco más grande en comparación con la respuesta obtenida con algoritmo genético.

Referencias

[1] A. Coley D. *An introduction to genetic algorithms for scientists and engineers*. 1999. World Scientific. Singapur. (218 páginas).

[2] Aguilar S. Fuentes A. Arteaga F. "*Implementacion del algoritmo PID adaptativo para controlar temperatura y através del computador usando algoritmos genéticos"* Universidad de Carabobo, facultad de ingeniería, Escuela de Ing. Electrica, unidad de automatización industrial.
[3] Alfaro E. 2011 (25 de Febrero). *http://eddyalfaro.galeon.com/geneticos.html*
[4] Arvey J. Angulo F. "*automatización de un equipo para aplicar vibraciones circulares al tallo de café"* universidad nacional de Colombia facultad de ingeniería y arquitectura programa de ingeniería electrónica 2000
[5] E. Tlelo-Cuautle, I. Guerra-Gmez, Luis G. de la Fraga, G. Flores-Becerra, S. Polanco-Martagn, M. Fakhfakh, C.A. Reyes-García, G. Rodríguez-Gómez, G. Reyes-Salgado, Evolutionary Algorithms in the Optimal Sizing of Analog Circuits, in Intelligent Computational Optimization in Engineering: Techniques & Applications. M. Koeppen, G. Schaefer, A. Abraham (Eds.), ISBN: 978-3-642-21704-3, vol. 366, pp. 109-138, Springer, August 2011. DOI:10.1007/978-3-642-21705-0_5.
[6] Evans J.R y Olson D.L. *"Statistics, Data análisis and decisión modeling"* Prentice Hall
[7] Fife Nuñez J. Rodriguez Dominico M. *"Empleo de los algoritmos genéticos para el ajuste en línea de un regulador PID convencional"*. SIE 2003.
[8] Jin-Sung K. Jin-Hwan K. Ji-Mo P. *"Auto tuning PID Controller based on improved Genetic Algorithm for reverse osmosis plant."* World Academy of Science, Engineering and technology 2008.
[9] Juménez H. *"métodos numéricos"* Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial. Agosto 2010.
[10] Kyoungkwan AHN, JangHwan HYUN. *"optimization of double loop control parameters for a variable displacement hydraulic motor by genetic algorithm."* JSME international Journal. Series C, Vol. 48 No. 1, 2005.
[11] Lixin Tan. Juemin Liu. *"Study of genetic algorithms on optimizaing PI parameters in prime mover simulation system"* Hunan University Changsha China. Noviembre 2008.
[12] Mancilla Espinoza L. E. *"Caracterizacion de los parámetros de un algoritmo genético para diferentes interferogramas usando polinomios de zernike."* CIDESI, Doctorado en ingeniería en la especialidad de Mecatrónica. Junio 2008.
[13] Willink C. "*Desarrollo de experimentos en el área del modelado experimental que sirvan de apoyo al curso IE-0409 Análisis de Sistemas."* Universidad de Costa Rica Facultad de Ingeniería Eléctrica. Diciembre 2007.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 23. Volumen 4(5), 7 páginas

DESARROLLO DE UN SIMULADOR DE MANEJO

Oscar Alberto Pérez Reyes[1], Gabriel Sepúlveda Cervantes[2], Edgar Alfredo Portilla Flores[3]

Resumen

En este documento se muestra una metodología para desarrollar un simulador de manejo en 3D, así como un conjunto de herramientas para su construcción y evaluación. Del mismo modo, se mencionan las características que debe poseer un simulador para que éste sea inmersivo, entre las que resaltan los sistemas de video y los de audio. Utilizando las nuevas tecnologías disponibles, es posible construir mundos virtuales que permitan recrear los entornos, pero es relevante ver los resultados obtenidos, es por ello que es de gran importancia la selección de estas tecnologías. Es por esto que se abordan recomendaciones técnicas de la selección de ellas. Todo esto con la finalidad de generar un simulador que sea capaz de forjar experiencias a los usuarios de los mismos, que le sean de utilidad en el mundo real.
Palabras clave: Simulador de manejo, Realidad Virtual, Sistema de Video y Audio

Summary

This paper shows a methodology for developing a 3D driving simulator and a set of tools for the construction and evaluation. At the same time the characteristics listed must have a simulator that is immersive, between these features highlight video systems and audio systems. Using the new technologies available it´s possible to build virtual worlds that allows to recreate the environments, but it´s important to see the results, which is why it´s really important the selection of these technologies. This is why technical recommendations are addressed in the selection of them. All of this in order to generate a simulator that is capable of generates experiences in the users; those must be useful in the real world.
Keywords: Driving Simulator, Virtual Reality, Video and Audio System.

Introducción

Un simulador es un aparato que permite la recreación de fenómenos o eventos de un sistema real, reproduciendo su comportamiento. Dentro de los simuladores de máquinas se pretende reproducir tanto las sensaciones físicas (velocidad, aceleración, percepción del entorno) como el comportamiento de los equipos de la máquina misma.

Para simular las sensaciones físicas se puede recurrir a complejos mecanismos hidráulicos comandados por potentes ordenadores, los cuales mediante modelos matemáticos consiguen recrear sensaciones de velocidad y aceleración. Para reproducir el entorno exterior se emplean proyecciones de bases de datos de terreno mediante sistemas gráficos y ambientes virtuales.

Para llevar a cabo este trabajo se requiere de un conjunto de sistemas trabajando en perfecta armonía y sincronización para que al actuar simultáneamente, la sensación percibida por el usuario sea multimodal, es decir estimulando varios de sus sentidos simultánea y congruentemente. Estos sistemas pueden ser, entre otros, la recreación del mundo real en un mundo virtual, el cual debe ser lo suficientemente realista como para que el usuario pueda creer que lo que ve comparte las características del mundo real. Otro de los sistemas que trabajan en combinación es el conjunto de sensores que permiten medir y cuantificar las acciones que realiza el usuario, y otro sistema lo compone el conjunto de actuadores, cuya acción debe provocar una sensación que sea lo más parecida a lo que sucedería en la vida real al llevar a cabo la actividad simulada, lo mismo que las acciones.

[1] Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo, Av. Juan de Dios Batís s/n casi esq. Miguel Othón de Mendizábal edificio del CIDETEC. Colonia Nueva Industrial Vallejo, Delegación Gustavo A. Madero C.P. 07700, México D.F, Tel. 044 5513539649, E-mail: oscar_p_r@hotmail.com
[2] Idem. Tel. 5729 6000, Ext. 52510, E-mail: gsepulvedac@ipn.mx
[3] Idem a 2. E-mail: edport22@gmail.com

Todos los fenómenos que ocurren en este mundo virtual tienen la característica de seguir los mismos principios que en el mundo real.

En la actualidad podemos encontrar simuladores con capacidades realmente sobresalientes, preparado para recrear más de 200 variables distintas. Un claro ejemplo de esta clase de simuladores es el generado por la Universidad de Iowa, el NADS-1 (Simulador Nacional de Conducción Avanzada), Fig. 1.

El NADS [1] que tuvo un costo de 80 millones de dólares, debido a que cuenta con más de 10 grados de libertad, un sistema de visión de ocho proyectores, la capacidad de introducir una carro completo o la cabina de un camión, todo dentro de una cúpula de más de siete metros, y necesita de un muy amplio, el equivalente a un gimnasio, debido a toda la maquinaria requerida para mover la cúpula.

Sin embargo no se requieren de simuladores tan complejos, en cualquier lugar se pueden llegar a construir simuladores que permitan recrear las sensaciones de manejar un vehículo.

Un simulador de capacidades aceptables puede ser construido con tan solo implementar la interacción de tres elementos primordiales, un mudo virtual, un sistema de sonido y video fidedigno y una cabina que permita sentirnos dentro del vehículo.

Construcción de un Mundo Virtual

La selección de qué sistema se va usar se debe de basar en las necesidades, recursos y propósitos de cada proyecto. El mundo virtual, como su nombre lo indica, es aquél en donde se introducirá al usuario. En este mundo se desarrollaran todas las situaciones que se desean simular, desde el conducir el vehículo hasta los múltiples contingentes que se puedan presentar mientras se manejan, todo esto en un ambiente controlado.

Los mundos virtuales se crean mediante diferentes herramientas. Hoy en día es común utilizar motores de juegos para la creación de estos mundos, un motor de juegos es un sistema de software diseñado para la creación y desarrollo de videojuegos, y existen gran variedad de ellos para trabajar en distintas consolas de videojuegos y sistemas operativos. En general, la funcionalidad típica de estos sistemas de software es proveer un motor de renderizado para los gráficos 2D y 3D, motor físico y detector de colisiones, sonidos, animación, inteligencia artificial, redes, streaming, scripting, administración de memoria, escenario gráfico, etcétera.

Para crear el mundo virtual con el motor de juegos es necesario desarrollar modelos 3D que sean utilizados en los anteriores, para esto existen varias herramientas de modelado. Podemos encontrar una amplia gama de herramientas de modelado 3D, y la selección de la herramienta a utilizar dependerá del conocimiento que se tenga del programa, la curva de aprendizaje, así como de las capacidades del programa, ya que en la actualidad estos modelos son de gran importancia dado que gracias a ellos podemos aumentar la sensación de realismo que tenga el simulador.

Modelos 3D

El tiempo que toma construir un modelo puede ser muy variado, ya que podemos entrar en mayor o menor detalle según sea el caso. Por ejemplo las formas geométricas pueden ser sencillas de construir mientras que las formas irregulares o naturales, como una mano o un automóvil, son mucho más complejas. Es importante considerar cuantos modelos serán utilizados al mismo tiempo, ya que de ello dependerán las características mínimas del equipo a usar, debido a que los renderizados (conversión de los modelos terminados a imágenes foto realistas) harán uso de ellas.

Fig. 1. Simulador NADS-1

Como se pudo observar en [2], el proceso de crear un modelo animado en 3D completo consta de una serie de pasos. La primera parte consiste en crear el modelo 3D, después de este proceso se debe de hacerse un mapeado UV para agregar texturas y normales, con lo cual se logra insertarle una *"piel"* (textura), la cual contará con la característica de permitir ver como se refleja la luz en ella (normales). Después de este proceso se agrega un esqueleto al modelo, éste, a su vez, está conformado por varios huesos, mismos que permitirán mover al modelo en partes definidas por el diseñador, tal y como lo hace un titiritero con una marioneta.

Finalmente se procede a realizar la animación del modelo, el cual puede llegar a tener una gran cantidad de animaciones, mismas que deben de identificarse con un nombre que permita saber qué animación se está llevando a cabo. Esto es, si el modelo es una persona y la animación consiste en caminar, la animación podría llamarse caminar, si por el contrario el modelo está tomando una bebida la animación podría tener el nombre beber. Cabe mencionar que en animaciones como la última, la acción de beber puede hacerse con una gran cantidad de objetos (un refresco, agua, café, etc.), pero no por eso son animaciones diferentes, simplemente se modificaría el objeto que tenga en su mano. Finalmente se exporta el modelo de acuerdo a las necesidades del motor gráfico. Este procedimiento se muestra en la Fig. 2.

Programación

Los modelos 3D por sí solos no bastan, falta crear un mundo entero en el cual se desempeñen todas las circunstancias. Para un simulador de manejo se puede elegir entre dos rutas primordiales; en una ciudad o en carreteras, eso dependerá de los objetivos que se quieran cumplir con el desarrollo del simulador. En ambos casos, las acciones y reacciones del mundo virtual ante la interacción del usuario deben ser modeladas y programadas para responder de forma interactiva y logrando una retroalimentación sensorial que aumente el realismo del simulador.

En la actualidad, los motores de juegos cuentan con la capacidad de programar comportamientos de objetos, lo cual proporcionará una mezcla entre modelos de alta calidad y comportamientos congruentes. Entre las características principales de un simulador de manejo a programar resaltan el sistema de semáforos, el control de tráfico e, incluso, variaciones ambientales como pueden ser la puesta del sol o lluvia.

Para ello se debe de programar un sistema que controle todas estas variables, el diseño de este sistema se debe hacer con base en los modelos y las acciones que queremos llevar a cabo, controlar el tráfico y no solo eso, sino también la velocidad con la que interactúan los objetos [3].

Asimismo, debemos recordar que es prácticamente imposible simular todos los detalles del mundo real, debido a la gran cantidad de ecuaciones que serían involucradas. Para la implementación debemos utilizar modelos que se aproximen lo más posible a la realidad [4], con lo cual podemos utilizar las propiedades que brindan los modelos definidos para un cuerpo rígido, estas características ya están implícitas en motores de juegos como los Unity 3D y UDK.

También se usarán estas características (posición inicial, tamaño, colisiones) para programar su comportamiento. Los comportamientos que deben de tomar cada uno de ellos pueden ser programados de formas tan complejas o sencillas como se desee.

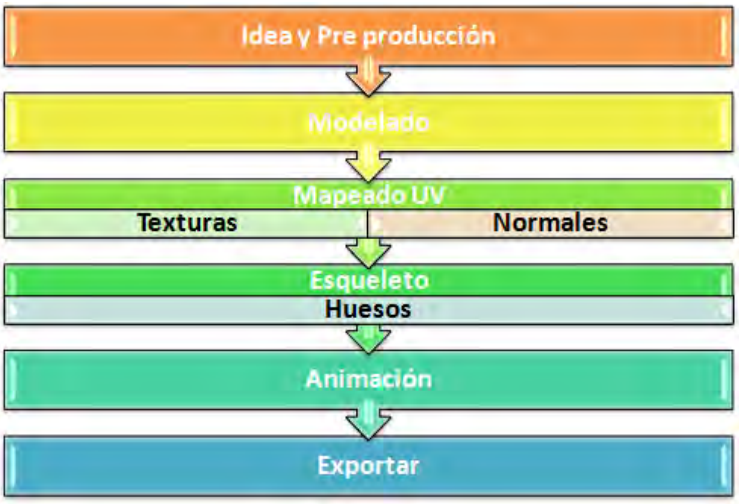


Fig. 2. Proceso de Animación

Por ejemplo, para programar el tráfico vehicular podemos usar algo tan simple como lo son campos potenciales, lo cual provocaría que los carros siempre mantuvieran una distancia prudente los unos de los otros. Pero, al mismo tiempo, generaría la sensación de un mundo poco real ya que en situaciones reales podríamos definir el movimiento vehicular como un movimiento aleatoria con rutas más largas. Por ello es que se podría sustituir por una programación evolutiva que toma en cuenta el sentido de las calles así como la densidad de tráfico, e incluso los tiempos tomados en rutas similares para buscar una ruta más rápida a pesar de que no sea más corta.

El método que se use para programar el comportamiento dependerá de las capacidades del programador y del dominio del lenguaje de programación que sea compatible con el motor de juegos utilizado, así como el tiempo que se designe en esta tarea, la combinación de todos los modelos, animaciones y programación de los elementos generara un mundo virtual.

Sistema de audio y Video

Los sistemas de audio y video son elementos necesarios en los simuladores con gran inmersión y realismo, pues con ellos se está engañando a los sentidos para creer que lo que se está viendo y escuchando es lo que está sucediendo en el mundo real.

Es por este motivo que en la actualidad se usan pantallas de alta definición, pero esto no bastaría si las imágenes generadas por el renderizado no fueran de la calidad adecuada, por suerte hoy en día los motores de juegos permiten seleccionar la calidad de imagen que deseamos obtener al final esto con el propósito de ser versátiles y adaptarse a la mayoría de los medios en los que se pueda reproducir.

Como se puede hacer notar en [5], el utilizar una herramienta de desarrollo de juegos para crear el mundo virtual es una buena opción debido al gran desarrollo que se tiene en la actualidad en esta área, de esta forma se pueden crear gráficos con mayor detalle en los modelos creados.

El motor de juegos de Unity 3D permite realizar mundos con una calidad de imagen de alta definición por lo que se complementa con las demás herramientas para usarse como una herramienta de diseño para un simulador de manejo.

Asimismo es recomendable que la proyección que se tenga de las imágenes abarque más de una pantalla, esto con el fin de aumentar el ángulo de visión del mundo virtual y aumentar la sensación de realismo se puede utilizar un sistema de 90°, 180° o 360° como se realizo en la universidad de Iowa [1].

La desventaja que presenta Unity 3D es la imposibilidad de extender la imagen presentada a más de 2024 en el ancho de la resolución, esto puede llegar a ser un problema si se decide, como en muchos casos, hacer uso de varias pantallas.

Para resolver el problema anterior dentro de un sistema de tres pantallas se puede utilizar un sistema de cliente-servidor, usando una computadora como servidor se le podría asignar a una pantalla y dos clientes podrán hacer uso de las dos pantallas restantes, para que todo se comporte como un monitor extendido, las cámaras de los clientes deben estar ancladas a la cámara del servidor con lo cual, al moverse este se moverán las demás, asimismo, se debe cuidar la posición de las cámaras de los clientes para que parezca una sola imagen.

El sistema de audio es igual de importante que el de video, pues con éste se complementara la sensación de realismo al engañar a los sentidos simultáneamente. Es por ello que es importante tener en cuenta dos cosas: la primera, la obtención y edición de muestras de audios reales, y en segundo lugar la distribución y selección de los altavoces.

Para resolver la primera situación hay varias formas. Hoy en día es fácil encontrar una gran cantidad de sonidos ambientales, maquinarias, electrodomésticos e, incluso, sonidos de animales. El otro método es grabarlos en vivo y limpiarlos mediante algún software de edición de audio con el fin de extraer el sonido que requerimos.

Cada audio se puede probar en el motor de juegos de Unity 3D en diversas modalidades, esto permite que un audio sea 3D. Esto es, mientras más cerca de la fuente se esté dentro del ambiente virtual más fuerte será el sonido así como la posibilidad de oírlo del lado izquierdo o derecho dependiendo de la posición del individuo virtual con respecto a la fuente del sonido.

Para crear un sonido envolvente es recomendable adquirir un sistema de sonido más completo, en la actualidad es relativamente fácil encontrar sistemas de audios 5.1 con tarjetas de audio que los controlen a precios módicos. Es por esto que es conveniente adquirir uno de estos sistemas para la construcción de un simulador ya que con esto se pueden colocar un sistema de sonido similar al que se muestra en la Fig. 3.

Un sistema de audio 5.1 es un sonido Surround, sonido envolvente o sonido 3D, se refiere al uso de múltiples canales de audio para provocar efectos envolventes a la audiencia. En este caso, cinco altavoces que tratan de forma independiente un rango determinado de frecuencias. Cuando se trata de cinco altavoces se distribuyen del siguiente modo: central (emite sonidos medios o de voz), delantero izquierdo y derecho (emite sonidos de todo tipo, a excepción de los bajos), trasero izquierdo y derecho (emiten sonidos de

ambientación). Por el último ".1" hace referencia al canal de subwoofer (emite todos los sonidos con frecuencias aproximadamente hasta los 100 Hz).

Cabina

En la actualidad es común encontrar que en lugar de realizar plataformas donde se montan los simuladores se lleven a cabo la construcción cabinas de alto realismo, las cuales cumplen con la misma función con la ventaja de que estas cabinas proporcionan una sensación de realidad mucho mayor.

La cabina que se muestra en la Fig. 4 fue construida con el fin de llevar a cabo una visita virtual [4]. La cabina es de alto realismo mezclado con un sistema de video y audio de alta calidad esto produce la sensación de estar recorriendo las calles en un auto real.

Fig. 3. Sistema de sonido 5.1

En algunos casos se puede complementar el uso de una plataforma en la cual se montara la cabina, la ventaja de hacer uso de una plataforma consiste en agregar sensaciones para crea un ambiente más inmersivo, las plataformas pueden hacer uso de sistemas neumáticos o mecánicos dependiendo el diseño de cada una.

Una cabina de bajo costo puede consistir de menos elementos. Por ejemplo, para un simulador de manejo, la cabina puede contar con al menos un volante, palanca de velocidades y pedales, ya que estos tres elementos son los más utilizados al manejar, de ser posible sería conveniente agregar las palancas para el control de limpiadores, luces y direccionales con lo cual aumentaría el realismo.

Fig. 4. Cabina de alto realismo

Cabe mencionar que en varios lugares ya se pueden encontrar versiones caseras de estos elementos con costos bajos con lo cual la construcción de un simulador es más bajo, la Fig. 5 muestra un claro ejemplo de los elementos básicos que conformarían una cabina de bajo costo.

Son muchas las diferencias existen entre los modelos, pero si se complementa esta cabina con las características antes mencionadas se pueden obtener resultados con un nivel de realismo e inmersión lo suficientemente altos como para dar la sensación de estar manejando un vehículo real.

Fig. 5 Simulador de manejo de bajo costo

Interfaz de comunicación

Al dispositivo que se utiliza para conectar al mundo físico con el mundo virtual se le da el nombre de interfaz. Estas interfaces permiten ver valores como son la velocidad en la que viaja el vehículo, asimismo se pueden encontrar sensores que ayuden a interpretar lo que sucede en el mundo real para obtener una respuesta en el mundo virtual [6].

Para el manejo de las interfaces se debe elegir de igual forma el programa que interpretará todos los valores provenientes del mundo físico, para llevar esto a cabo se deben de programar las funciones que se desean en el momento de activar algún sensor o dispositivo.

Adicionalmente se debe de tener en consideración que algunos dispositivos poseen mayor resolución que otros, para ello se deben hacer varias pruebas para ver que escala de valores es la más adecuada para cada dispositivo, existen una gran cantidad de interfaces pero entre las más fáciles de usar, así como versátiles destaca la NI USB-6009 de National Instruments la cual permite entradas digitales y analógicas con lo cual pueden ser usadas para controlar y recibir las señales proporcionadas por los dispositivos instalados en la cabina mediante USB.

También se tiene como opción el uso de microcontroladores comunicados con la computadora, tal es el caso de los PICs y AVRs. Una opción más es el uso de tarjetas internas a la computadora conectadas en el puerto PCI para asegurar velocidad de transmisión, un ejemplo de estas tarjetas son las desarrolladas por Sensoray y National Instruments.

Conclusión

Hoy en día se puede construir un simulador de manejo adaptándonos a los recursos y necesidades de cada persona, no siendo necesario adquirir software costoso para llevar a cabo los procesos involucrados para construir un mundo virtual. El software libre proporciona la capacidad de crear modelos 3D, Blender es una de las herramientas más completas para crearlos, además de ser de licencia libre, de igual forma podemos encontrar una gran cantidad de modelos en la red, hechos para Blender y subidos para uso libre, con lo cual el proceso de crear un modo virtual se reduce, del mismo modo para el manejo de las texturas y normales podemos usar GIMP el cual es de igual forma libre.

Por desgracia para crear un buen mundo virtual las versiones libres de los motores de juegos no cuentan con las herramientas completas para llevarlo a cabo, es por ello que para esta herramienta se recomienda adquirir las versiones más completas, ya que esto, permitirá tener acceso a funciones más amplias.

Un simulador de manejo básico permite llevar a cabo estudios a un nivel no tan profundo, esto es a grupo de personas más específicos con fines de ver cómo se comportan, la ventaja de usar uno de estos simulador es que las personas se pueden acostumbrar a ellos de forma fácil y la sensación de realismo es alta.

Referencias

[1] http://www.nads-sc.uiowa.edu/sim_nads1.php "The National Advanced Driving Simulator" pagina consultada el 29 de junio de 2011.

[2] Joe Crawford, *Animación 3D bajo Software Libre Mundos Virtuale.* 08/02/06. Linux Magazine. (5 páginas).

[3] Yanfang Yang, Jiquan Hu, Dingfang Chen, *"Research on Driving Knowledge Expert System of Distributed Vehicle Driving Simulator",* 11th Institute International Conference on computer Supported Cooperative Work in Design, Melbourneo, Abril 26-28, 2007, Australia.

[4] Lianxing Jia, Shigang Han, Lin Wang, Hua Liu. *"Develop and Realization of A Street Driving Simulator for Virtual Tour".* ANSS, Wuhan, 2007, China.
[5] Mikael Lebram, Henrik Engström, Henrik Gustavsson. *"A Driving Simulator Based on Video Game Technology".* University of Skövde, Skövde, Sweden.
[6] Torsten Sommer. *"Physics for a 3D Driving Simulator".* Bachelor Thesis, Marzo 1, 2008. München Alemania.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 24. Volumen 4(5), 8 páginas

SIMULADOR 3D PARA CAPACITACIÓN DE MANEJO DE VAGONES DEL TRANSPORTE COLECTIVO METRO

Edgar Said Batalla González [1], Gabriel Sepúlveda Cervantes [2], Edgar Portilla Flores [3]

Resumen

Gracias a los avances que en la tecnología, hoy en día se puede reducir significativamente el tiempo de capacitación, en actividades que pueden ser de riesgo y puedan costar pérdidas humanas y materiales, llevando el entrenamiento del personal a un nivel diferente de percepción, donde por medio de una herramienta desarrollada por computadora, podemos reproducir una ruta que logre aparentar ser la ruta original por la que podría conducir, de modo que le sea posible interactuar libremente en un mundo virtual y lograr así acceder las veces que se quiera sin problema alguno. Este artículo presenta la simulación con características físicas y lógicas de una maquina combinada con elementos de un entorno virtual para entrenamiento de conductores. Muestra el desarrollo de una herramienta capas de apoyar a un individuo en el desarrollo de sus habilidades y conocimientos respecto a la maquinaria, permitiendo entender el manejo real del elemento simulado. La aplicación final del desarrollo proporcionará una herramienta que auxilie al personal del Sistema de Transporte Colectivo Metro en su capacitación en el manejo de los vagones; con el manejo de un sistema de realidad virtual.

Palabras clave: Entrenamiento, Motor de Videojuegos, Realidad Virtual, Simulación.

Summary

Thanks to the benefits we provide the advances in technology can significantly reduce training time, activities that can be risky and can cost human and material losses, staff training leading to a different level of perception, where by using a tool developed by computer, we can reproduce a path that achieves real pretend to be original route which could lead, so he can freely interact in a virtual world and to achieve access to information needed as often as want without any problems. This paper presents the simulation with physical and logical characteristics of a machine combined with elements of a virtual environment for training drivers. The development allows the production of a tool supporting layers of an individual to develop their skills and knowledge about the machinery, allowing management to understand the actual simulated element. The final application development tools that help provide a staff of Subway Public Transport System in their training in the handling of the cars, with the management of a virtual reality system.

Keywords: Training, Game Engine, Virtual Reality, Simulation.

Introducción

Simular es reproducir artificialmente un fenómeno o las relaciones entrada-salida de un sistema [1]. Ocurre siempre cuando la operación de un sistema o la experimentación en él son imposibles, costosas, peligrosas o poco prácticas, como en el entrenamiento de personal de operación, pilotos de aviones, etc.

Actualmente se simulan comportamientos, partes pequeñas de un mecanismo, el desarrollo de epidemias, el sistema inmunológico humano, las plantas productivas, sucursales bancarias, sistemas de repartición, crecimiento de poblaciones de especies de animales, partidos y torneos, movimiento de los planetas y la evolución del universo, para mencionar unos pocos ejemplos de las aplicaciones de esta herramienta.

[1] CIDETEC. Av. Juan de Dios Bátiz s/n casi esq. Miguel Othón de Mendizábal. Colonia Nueva Industrial Vallejo, Del. Gustavo A. Madero C.P. 07700, México, D.F. Tel. 5741135. E-mail: said_batalla@hotmail.com
[2] Idem a 1. Tel. 5729 6000, Ext. 52510 . E-mail: gsepulvedac@ipn.mx
[3] Idem a 2. E-mail: edport22@gmail.com

En los países altamente desarrollados la simulación es una herramienta principal en los procesos de toma de decisiones, en el manejo de empresas y el planeación de la producción. Además, la Simulación es cada vez más "amigable" para el usuario, que no tiene que ser un especialista en computación.

Si esta reproducción está basada en la ejecución de un programa en una computadora digital, entonces la simulación se llama digital y usualmente se conoce como simulación por computadora, aunque esto incluye la simulación en las computadoras analógicas. La simulación por computadora está relacionada con los simuladores. Por simulador entendemos no sólo un programa de simulación y la computadora que lo realiza, sino también un aparato que muestra visualmente y a menudo físicamente las entradas y salidas (resultados) de la simulación [1].

Se puede definir a la simulación como la técnica que imita el funcionamiento de un sistema del mundo real cuando evoluciona en el tiempo [1]. Esto se hace por lo general al crear un modelo de simulación. En síntesis, cada modelo o representación de un fenómeno u evento es una forma de simulación.

Shannon define la simulación como el proceso de diseñar un modeló de un sistema real y realizar experimentos con él para entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias (dentro de los límites impuestos por un criterio o por un conjunto de criterios) para la operación del sistema. Por lo que se entiende que el proceso de simulación incluye tanto la construcción del modelo, como su uso analítico para estudiar un problema.

Las mejoras en ambientes 3D no solo en el diseño de los modelos sino en las incorporaciones de factores físicos e implementaciones de algoritmos de Inteligencia Artificial (IA), permiten actualmente generar un verdadero evento aleatorio el cual puede llegar a representa de manera exacta lo que ocurriría en una situación real, aunado a esto encontramos que existe una industria encaminada a atacar de manera específica las características dadas en un simulador; la industria de los juegos de video, que debido a su objetivo principal, no es tomado seriamente, aunque su desarrollo propone mas progresos en este tema que el obtenido en investigaciones.

Los motores de videojuegos y sus aplicaciones en la educación

Durante los últimos años el desarrollo de la industria del entretenimiento referente a juegos de video a tenido un incremento considera gracias al desarrollo de motores gráficos más poderosos tales como *Unreal Development Kit, Unit 3D, Cryengine 3*, etc. (Fig. 1), capaces de reproducir eventos físicos muy apegados a la realidad. Aunado a este crecimiento, cabe mencionar que el uso de la tecnología para un juego de video tanto software y hardware, puede ser utilizado con otros fines además del entretenimiento, tales como el aprendizaje de diversas actividades.

Si bien la elaboración de un juego de video es costosa, sus herramientas son diseñadas de forma tal que sea posible darle uso para generar diversos juegos por años mientras se desarrollan paralelamente nuevas herramientas con mejores capacidades, dejando, por debajo los motores gráficos para investigaciones que en ocasiones solo son para un proyecto en especifico sin tener la capacidad de ser utilizado nuevamente en un nuevo proyecto. Estas herramientas son conocidas como entornos de desarrollo (Fig. 2).

Estos elementos como se ha mencionado son ideales en el desarrollo de un simulador para el perfeccionamiento de las capacidades sensoriales y motoras en la actividad de manejo y conducción de medios de transporte poniendo un ejemplo.

Fig. 1. Motores de videojuegos, Logo tipo de Unreal Development Kit *(izquierda), Unity 3D (derecha)* y Cryengine 3 *(centro).*

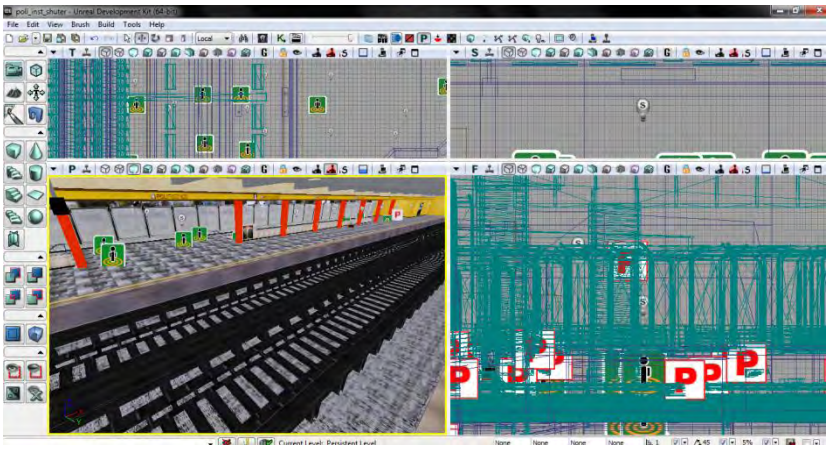


Fig. 2 Entrono de Desarrollo de UDK

Simuladores de Manejo

Como se menciona con anterioridad el desarrollo de un simulador a partir de un motor de videojuego es una opción que permite el desarrollo de un ambiente en 3D de gran calidad y con grandes ventajas.

El simulador de conducción y averías del metro de Bilbao[2], el cual es una herramienta de adiestramiento práctico que permite instruir en la identificación y resolución de averías, mejorar los hábitos de conducción y ayudará a solventar con mayor precisión y agilidad todas las incidencias posibles que puedan alterar la normal circulación de los trenes (Fig. 3).

Otro simulador de manejo que utiliza un motor de videojuegos como base principal para el desarrollo del ambiente 3D y la comunicación entre cada control es el simulador de manejo *IntelliDriver Interactive* para el Departamento de Transporte de Michigan [3] utilizando el motor de videojuegos *UDK*, el cual permitió una gran calidad de video y una sensación más real en las actividades de entrenamiento gracias a sus detalles que provocan una concentración mayor (Fig. 4).

Lo mencionado sobre las bases de los simuladores en los juegos de video se muestran referidas en los trabajos realizados por Mikael Lebram, Henrik Engström y Henrik Gustavsson, de la Universidad de Skövde, proponiendo en sus trabajos la construcción de un simulador de manejo basado en la tecnología empleada en juegos de video[4].

Dentro de los aspectos de control que proporciona un simulador se pueden mencionar los resultados obtenidos por Federico Casolo, Simone Cinquemani, Matteo Cocetta, que proponen el desarrollo de un simulador de manejo funcional de bajo presupuesto [5].

Bajo el motor gráfico de UDK el desarrollo de una herramienta de capacitación como lo es el simulador de manejo propone una mejora en la calidad del manejo en gráficos, combinado con la capacidad que tiene el entorno para poder manejar la instrumentación de un dispositivo de control permiten el desarrollo de una aplicación de entrenamiento dedicada desde su creación para las necesidades del Sistema de Transporte Colectivo Metro (STCM).

Fig. 3 Simulador de manejo del Metro de Bilbao

Fig. 4. Simulador de manejo IntelliDriver *desarrollado por* BP Project Viz *para el Departamento de Transporte de Michigan*

Desarrollo del Simulador del Metro

Para crear el simulador con características realistas, se requiere de un sistema que pueda simular todos los elementos con los que ruta del metro cuenta, así como la cabina de manejo, y proporcionar al conductor todos los elementos necesarios para percibir un entorno semejante al vagón real logrando una capacitación adecuada.

El STCM, es uno de los principales medios de transporte en la ciudad de México, por lo que cada vez se demanda un servicio que proporcione a los usuarios seguridad al transportarse en los trenes del servicio, lo que representa una meta para los encargados del servicio, dentro de los cuales mencionaremos a los conductores, quienes tiene como función primordial conducir el tren dentro de las normas establecidas de seguridad y eficacia; para ello es necesario el conocimiento exacto y actual de los equipos, instrumentos y su funcionamiento en el tren y en las estaciones fijas, estos conocimientos que debe tener el conductor están basados en la práctica y el estudio de los instrumentos.

Estas prácticas son realizadas sobre los mismos trenes que son maquinaria con un alto costo monetario y en periodos de tiempo supervisados.

Actualmente el Sistema de Transporte Colectivo Metro cuenta con dos simuladores los cuales proporcionan: la simulación del monitoreo de las redes de transporte y flujo de vagones [6], y un simulador del manejo de la cabina de control para los vagones del metro.

Es importante mencionar que ninguno de los simuladores con los que cuenta el metro propone una forma de manejo de acuerdo a los manuales técnicos que pueda ser empleada de forma real después de su entrenamiento.

Elementos de un simulador 3D

Estos ambientes deben poseer 4 características principales [7] las cuales son:

1. Un Mundo Virtual.
2. Deben ser inmersivas.
3. Deben tener una retroalimentación sensorial
4. Deben ser interactivas.

Generación de un Mundo Virtual

El general un ambiente acorde a los elementos presentes en la vida real es uno de los elementos principales de un simulador. La física y elementos gráficos que están presentes en el simulador son desarrollados gracias al motor de videojuegos UDK desarrollado por *Epic Games*.

Unreal Development Kit (UDK) cuenta con su propio lenguaje de programación orientado en scripting, *UnrealScripting* (UScript) [8], basado en el lenguaje de programación C++. Además cuenta con la capacidad de extender las funcionalidades originales mediante el uso de librerías de enlace dinámico (DLL) las cuales

extienden las capacidades del software para comunicarse con dispositivos externos, los cuales servirán como interfaces entre el usuario y el sistema.

Los elementos encontrados en una estación pueden ser modelados a partir fotos tomadas de diferentes secciones de las mismas tomando de ellas texturas para la elaboración de materiales y modelos 3D de elementos como vías, señalamientos, escaleras, etc. (Fig. 5).

Los modelos presentados dentro del mundo fueron elaborados en la herramienta de diseño 3D Blender la cual permite, el manejo de texturas, creación de materiales y definición de la estructural de los objetos.

Contando con una amplia gama de formatos para importar el modelo y permitiendo a UDK reconocerlo y aplicarlo en el mundo; UDK logra reproducir diversos elementos de luces, sombra y contraste en cada uno de los objetos exportados desde blender.

Fig. 5. Andén de la Estación Politécnico del Metro (Ciudad de México), dirección Pantitlán.

Respecto a manejar la simulación del control de un vagón es necesario elaborar un evento, el cual es una acción definida sobre una herramienta propia de UDK. Este evento se controla a partir de un trigger (Fig. 6), que dispara la acción cuando esta sea tocada en un área definida por su caja de colisiones sobre el espacio.

Esta acción es definida sobre un editor especial denominado Kismet (Fig. 7). Gracias a este editor se pudo crear la AI de los integrantes de la simulación, cono usuarios, vendedores o demás personajes controlados por el sistema y no por el usuario.

Las acciones se definen dentro del Kismet como una secuencia animada de movimiento que interactuara con el recorrido sujeta a cambios en el mismo recorrido a partir de las propiedades físicas que se otorguen a la cabina para generar un recorrido más realista (Fig. 8), por ejemplo la simulación presentará mayor inercia si se consideran los vagones llenos de usuarios a diferencia de un vagón vacío.

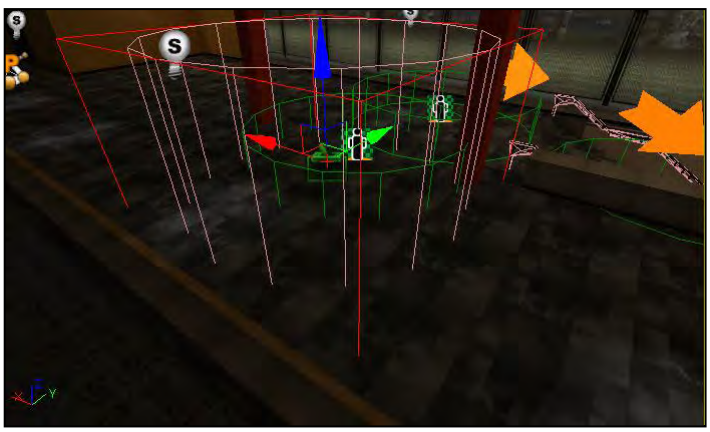


Fig. 6. Caja de colisiones del evento

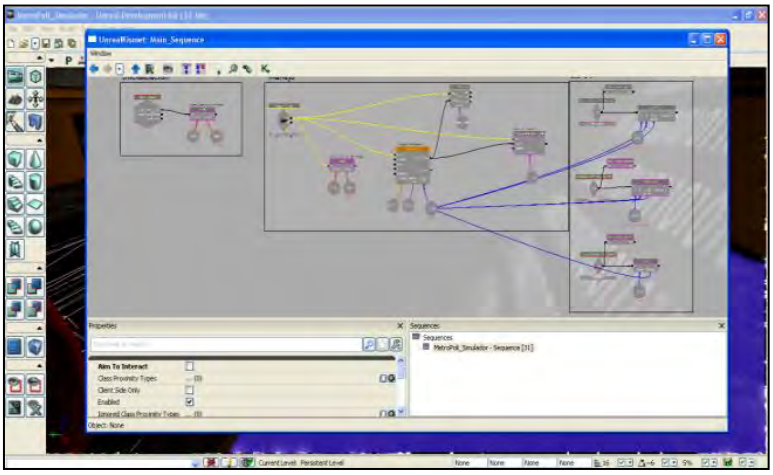


Fig. 7. Área de trabajo de UnrealKisment

Inmersión del simulador

Para que el ambiente en 3D sea inmersivo, el usuario debe de percibir a éste como algo real, por lo que para lograr este efecto se colocaron 3 pantallas, las cuales reproducen el ambiente 3D en cada monitor, dando su salida a una cámara en especifico (Fig. 9), utilizando una arquitectura cliente-servidor, comunicando los monitores con la aplicación.

Instrumentación del ambiente virtual

En la actualidad las líneas del metro cuentan con dos sistemas de automatización, uno denominado Pilotaje Automático (PA 135 Khz) para las líneas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, y 9 y el SACEM (Sistema de Ayuda a la Conducción, a la Explotación y el Mantenimiento) para las líneas 8, A y B [9].

Los trenes equipados con el sistema de Automatización PA 135 KHZ [10] ofrecen los siguientes modos de conducción, cuyo orden prioritario es:

1. Pilotaje Automático (PA).
2. Conducción Manual Controlada (CMC).
3. Conducción Manual Limitada (CML).
4. Conducción Manual Restringida (CMR).
5. Conducción Libre Limitada a T2 (CLT2).

Para lograr la interacción entre el usuario y el simulador se requiere de un sistema de adquisición de datos (DAQ) por lo que se requirió de un dispositivo capaz de ser programado y reutilizado dentro del lenguaje de programación de UDK. Para lograr lo antes mencionado se consideró la tarjeta NI6009 de la compañía National Instruments.

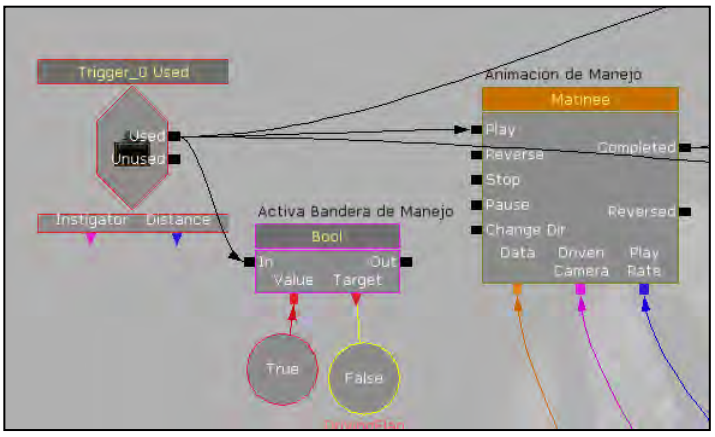


Fig. 8. Gatillo lanzador del evento

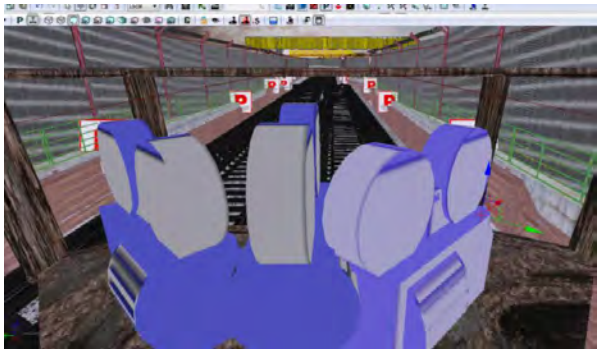


Fig. 9. Cámaras acopladas a una base.

La tarjeta de adquisición de datos NI6009 se programó utilizando el conjunto de Interfaces Programación de Aplicaciones (APIs) proporcionadas por la compañía National Instruments junto con los controladores de la tarjeta de adquisición de datos. Finalmente las variables capturadas por el sistema de adquisición de datos se capturan mediante comunicación USB, son almacenadas mediante un programa desarrollado con las APIs propias de la tarjeta y finalmente son comunicadas a la aplicación del simulador mediante funciones programadas en una librería de enlace dinámico (DLL) creada especialmente para el proyecto (Fig. 10).

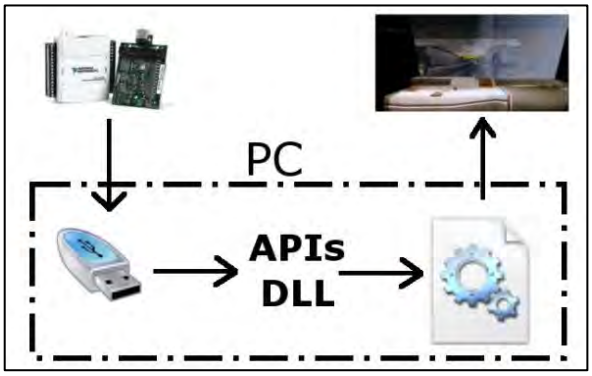


Fig. 10. Conexiones para la adquisición y procesamiento de señales.

Resultados

Se obtuvo un simulador que proporciona una interfaz sencilla la cual permite a los empleados del STCM el manejo y visualización de los elementos con los que se interactúa durante el recorrido entre las estaciones presentadas en el simulador. El manejo de la simulación mediante un dispositivo que proporciona los elementos de frenado, avanza a determinada velocidad hacia el frente y reversa.

Conclusiones

El manejo de los eventos, renderizado, manipulación de objetos y comunicación entre el motor gráfico y la tarjeta de adquisición de datos proporcionan los elementos suficientes para generar un simulador de manejo que cumpla con los estándares de calidad necesarios. Los inconvenientes que trae consigo el manejo de un motor gráfico de esta calidad refiriéndose al consumo de recursos de memoria y video, son costeables frente al beneficio que proporciona.

Referencias

[1] Ríos D. Ríos S. "*Simulación. Métodos y Aplicaciones*". Segunda Edición. Editorial Alfaomega, México, 2009.

[2] Mikael Lebram, Henrik Engström, Henrik Gustavsson. "*A Driving Simulator Based on Video Game Technology*". Universidad de Skövde, Alemania, 2007.

[3] Federico Casolo, Simone Cinquemani, Matteo Cocetta. "*Functional Mechanical Design of a Low Cost Driving **S**imulator*". Politécnico de Milán, 2007.

[4] Sitio oficial metro de Bilbao. 2011 http://www.metrobilbao.com/cas/metro/simulador.html/. Accedido el 25 de junio de 2011.
[5] Shannon T. 2011. http://forums.epicgames.com/showthread.php?t=727296. Accedido 25 de junio de 2011.
[6] *"Boletín IIE: Simulador del metro* Vol. 12 nos". Instituto de Investigaciones Electricas, 1988, pág. 1-6 México.
[7] Sepúlveda G. "*Estación Háptica para Deformación, Corte y Sutra de órganos Deformables con propiedades Superficiales*". Centro de Investigación y Estudios Avanzados, Dep. de Ingeniería Eléctrica, Sección de Mecatrónica, Marzo 2009.
[8] Sitio oficial Unreal Development Kit, Epic Games. http://udk.com/features. Accedido el 1 de julio de 2011.
[9] Sistema de transporte Colectivo. "*Conducción, Maniobras y Averías NE-92".* Septiembre 2006.
[10] Sistema de transporte Colectivo. "*Manual de conducción PA 135 KHZ".* Septiembre 2006.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 44. Volumen 4(5), 8 páginas.

DIAGNÓSTICO DE LA ENFERMEDAD DE PARKINSON MEDIANTE MEMORIAS ASOCIATIVAS

José Ángel Martínez Navarro[1], Jorge Heydrik Arroyo Leyva, María Elena Acevedo Mosqueda, Fabiola Martínez Zúñiga

Resumen

Se presenta un método para el diagnóstico de la enfermedad de Parkinson. La propuesta está basada en el enfoque asociativo, el cual es aplicado para clasificar a pacientes con la enfermedad de Parkinson y a aquellos que están completamente sanos. En particular, se utiliza la Memoria Asociativa Bidireccional Alfa-Beta junto con la codificación Johnson-Möbius modificada para tratar el ruido mezclado. Se utilizan tres métodos para probar el desempeño de la propuesta: Leave-One-Out, Hold-Out y *K*-fold Cross Validation, el promedio obtenido fue del 97.17%.

Palabras clave: Clasificación, Memoria Asociativa Bidireccional Alfa-Beta, Modelos Asociativos.

Summary

A method for diagnosing Parkinson's disease is presented. The proposal is based on associative approach, which is applied for classifying patients with Parkinson's disease and those who are completely healthy. In particular, Alpha-Beta Bidirectional Associative Memory is used together with the modified Johnson-Möbius codification in order to deal with mixed noise. Three methods of testing the performance of the proposal are used: Leave-One-Out, Hold-Out and K-fold Cross Validation and the average obtained was of 97.17%.

Keywords: Classification, Alpha-Beta Bidirectional Associative Memory, Associative Models.

Introducción

La enfermedad de Parkinson (**PD**, *Parkinson Disease*) es un desorden neurodegenerativo lento y progresivo que está caracterizado por la bradiquinesia, la rigidez, temblores y la inestabilidad de la postura [1]. Conforme aumenta la expectativa de vida de la población en general, la posibilidad de la ocurrencia y prevalencia de la PD se incrementa drásticamente.

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization) [2], existen 6 millones de personas en el mundo afectadas por esta enfermedad y 50,000 personas en México. La Fundación Nacional del Parkinson (**NPF**, *National Parkinson Foundation*) [3] afirma que apareden entre 50 mil y 60 mil nuevos casos cada año. Alrededor del mundo, la tasa va desde 20 a 25 nuevos casos por año por cada cien mil ciudadanos. Un 2% de las personas afectadas sufren esta enfermedad debido a factores hereditarios. Por lo tanto, es importante contar con los medios necesarios para clasificar pacientes con Parkinson.

La Inteligencia Artificial (IA) es un área que está siendo ampliamente utilizada para la tarea de clasificación. En los diagnósticos médicos, un clasificador efeciente puede serle util a un experto para incrementar la precisión y la confiabilidad del diagnóstico y para minimizar los posibles errores.

Varios trabajos han sido desarrollados para el diagnóstico de la enfermedad de Parkinson. Algunos de ellos utilizan las imágenes de la tomografía de emisión de posición (**PET**, *Position Emission Tomography*) o de la tomografía de emisión de un fotón individual (**SPECT**, *Single Photon Emission Tomography*) como datos para entrenar sistemas basados en Redes Neuronales [4] y en Máquinas de Soporte Vectorial (**SVM**, *Support Vector Machine*) [5].

[1] Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Zacatenco del Instituto Politécnico Nacional, Av. IPN s/n Col. Lindavista, C.P. 07738, Ciudad de México, México. E-mails: josekun13@gmail.com, jorge_gtb@hotmail.com, ame1972@gmail.com, dominio300@prodigy.net.mx

En otro trabajo, se analizan algoritmos que modelan la cinética de la dopamina mediante el uso de la transformación de Laplace de ecuaciones diferenciales y mediante el cálculo algebráico con la ayuda de construcciones basadas en Gröbner [6]. Con el uso de este método se obtiene una solución rigurosa con respecto a las constantes cinéticas sobre el dominio de Laplace. Keijers *et al*. [7] utilizan redes neuronales para la clasificación y evaluación de la disquinesia así como para extraer los parámetrso importantes que permiten distinguir entre la disquinesia y los movimientos voluntarios. Un algoritmo que combina una red neuronal tipo perceptrón con procesamiento de señales y clasificación basada en reglas [8] se utiliza para el reconocimiento automático y la clasificación de patrones de caminado, para reconocer alteraciones durante el caminado de pacientes de PD.

Otros trabajos relacionados utilizan la base de datos presentada por Tsanas y Little [9] de la Universidad de Oxford para entrenar sus algoritmos. Uno de los enfoques para la clasificación de pacientes con PD está basado en redes neuronales [10,11], otro trabajo utiliza SVM [12], mientras Gil [13] aplica una combinación de ambos enfoques. En este trabajo, utilizamos la misma base de datos para entrenar un modelo asociativo el cual es un enfoque alternativo para la clasificación de pacientes con la enfermedad de Parkinson. En particular, empleamos la memoria asociativa bidireccional Alfa-Beta [14]. La principal característica de este modelo es la recuperación correcta de todos los patrones entrenados, es decir, no presenta factor de olvido. El algoritmo del modelo no es un proceso iterativo y no tiene problemas de estabilidad. La recuperación correcta se presenta sin importar la naturaleza de los patrones a entrenar.

En la segunda sección se presentan los conceptos básicos de las memorias asociativas Alfa-Beta y se introduce el código Johnson-Möbius modificado para evitar el ruido mezclado. La tercera sección describe el modelo de las memorias asociativas bidireccionales Alfa-Beta. Los resultados se presentan en la cuarta sección.

Modelos Asociativos

Una Memoria Asociativa es un sistema que relaciona patrones de entrada con patrones de salida. El objetivo de una memoria asociativa es recuperar el patrón de salida cuando se le presenta su patrón de entrada correspondiente (ver Figura 1). El diseño de una memoria asociativa comprende dos fases: Aprendizaje y Recuperación.

Los patrones de entrada y salida pueden representar cualquier asociación, por ejemplo, huellas digitales asociadas a rostros, nombres con números telefónicos, secuencias de ADN con nombres, etc.

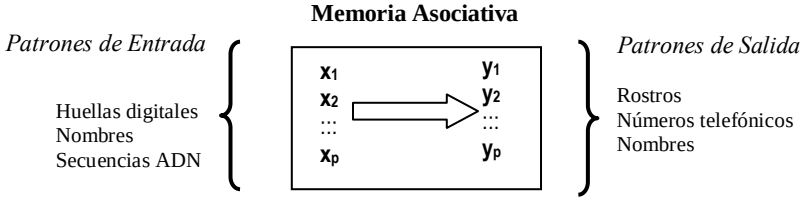


Fig. 1. Fase de Aprendizaje de la memoria asociativa.

Las memorias asociativas Alfa-Beta [15] son capaces de funcionar en dos modos diferentes. El operador α es utilizado en la fase de aprendizaje, y el operador β es usado en la fase de recuperación de patrones.

Los conjuntos A y B, los cuales son: $A = \{0, 1\}$ y $B = \{0, 1, 2\}$ definen las operaciones binarias α y β mostradas en las Tablas 1 y 2, respectivamente.

Los conjuntos A y B, las operaciones binarias α y β junto con los operadores $\wedge$ (mínimo) y $\vee$ (máximo) usuales conforman el sistema algebraico (A, B, α, β, $\wedge$, $\vee$) en el que están inmersas las memorias asociativas Alfa-Beta.

El modelo utilizado en este trabajo se ha denominado Memorias Asociativas Bidireccionales Alfa-Beta porque las memorias asociativas Alfa-Beta, tanto *max* como *min*, juegan un papel central en el diseño de este modelo.

Tabla 1. Operación Alfa, α: A x A $\rightarrow$ B

x	y	$\alpha(x,y)$
0	0	1
0	1	0
1	0	2
1	1	1

Tabla 2. Operación Beta, β: B x A $\rightarrow$ A

x	*y*	$\beta(x,y)$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1
2	0	1
2	1	1

Una de las características de las memorias asociativas Alfa-Beta es que las del tipo *máx* soportan grandes cantidades de ruido aditivo mientras las memorias del tipo *mín* son capaces de manejar el ruido sustractivo, pero ninguno de los dos tipos de memorias muestra buen desempeño ante el ruido mezclado.

Fase de Aprendizaje

Paso 1. Para cada $\mu = 1, 2, ..., p$, a partir de la pareja $(\mathbf{x}^{\mu},\mathbf{y}^{\mu})$ se construye la matriz: $[\boldsymbol{x}^{\mu} \otimes (\boldsymbol{y}^{\mu})^{t}]_{mxn}$, donde *m* y *n* son la dimensión de los vectores $\boldsymbol{x}$ y $\boldsymbol{y}$, respectivamente.

Paso 2. Se aplica el operador binario máximo $\vee$ a las matrices obtenidas en el paso 1 si la memoria es de tipo *Máx*, si es de tipo *Mín* entonces se aplica el operador binario mínimo $\wedge$, como se muestra a continuación:

$$\mathbf{V} = \bigvee_{\mu=1}^{p} [\boldsymbol{x}^{\mu} \otimes (\boldsymbol{y}^{\mu})^{t}] \quad \text{y} \quad \mathbf{\Lambda} = \bigwedge_{\mu=1}^{p} [\boldsymbol{x}^{\mu} \otimes (\boldsymbol{y}^{\mu})^{t}]$$

Fase de Recuperación.

El objetivo de esta fase es recuperar un patrón $\mathbf{y}^{\omega}$ a partir de un patrón $\mathbf{x}^{\omega}$ cuando éste último se le presenta a la memoria asociativa. El operador a utilizar en esta fase es β. Si en la fase de aprendizaje se creó una memoria de tipo *Máx*, entonces el patrón $\mathbf{x}^{\omega}$ operará con la matriz $\mathbf{V}$ junto con el operador *Mín* $\wedge$, por otro lado, si se aprendió con una memoria *Mín*, entonces en la recuperación se operará el patrón $\mathbf{x}^{\omega}$ con la memoria $\mathbf{\Lambda}$ utilizando el operador *Máx* $\vee$, de la forma siguiente:

$$\left(\mathbf{V} \Delta_{\beta} x^{\omega}\right)_{i} = \bigwedge_{j=1}^{n} \beta\left(v_{ij}, x_{j}^{\omega}\right) \text{ ó } \left(\mathbf{\Lambda} \nabla_{\beta} x^{\omega}\right)_{i} = \bigvee_{j=1}^{n} \beta\left(\lambda_{ij}, x_{j}^{\omega}\right)$$

Tipos de Ruido

Existen tres tipos de ruido a los que se enfrenta cualquier Memoria Asociativa que trabaja con valores binarios, los cuales son: Aditivo, Sustractivo y Mezclado. Las Memorias Asociativas α-β Máx y Mín son capaces de manejar de manera adecuada el ruido aditivo y el ruido sustractivo, respectivamente. Sin embargo, ninguno de los dos tipos de memoria es adecuado para manejar el ruido mezclado. Lo anterior de ilustra en la Fig. 2.

Para tratar de evitar el ruido mezclado, el cual no puede removerse con ninguna de los dos tipos de memorias asociativas Alfa-Beta, se deben codificar los patrones a entrenar mediante el código Johnson-Möbius modificado.

Código Johnson-Möbius modificado

Las MA α-β *máx* son inmunes al ruido aditivo y las memorias *mín* al ruido sustractivo pero ninguna es capaz de manejar el ruido mezclado, es por eso que es necesario codificar los patrones antes de realizar la asociación. El código Johnson-Möbius modificado ha mostrado ser una buena opción para esto.

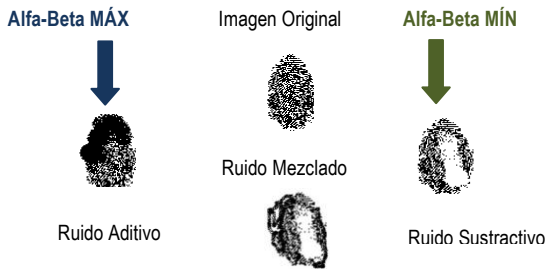


Fig. 2. Tipos de ruido: aditivo, sustractivo y mezclado.

El código Johnson-Möbius es un código binario en el que sólo se permite el cambio de un bit al pasar de un número al siguiente [16], y los bits cambiados permanecen hasta completar el ciclo y el cambio se inicia en el mismo extremo de cada sitio. Para representar un número decimal n en el código Johnson-Möbius, son necesarios $n/2$ bits si n es par y $(n+1)/2$ si n es impar. A continuación se muestra un ejemplo utilizando el código original y el modificado.

Sea el conjunto $r = \{26, 2, 0, 5, 15\} \subset R$

Paso 1. Como 26 es número par, entonces no es necesario sumarle 1.

Paso 2. Se divide $r_{máx} / 2 = 13$.

Paso 3. Si $r_i < r_{máx}/2$, entonces se generan $r_{máx}/2$-r_i ceros y se agregan r_i unos. De lo contario, se generan $r_{máx}$-r_i unos y se agregan r_i-$r_{máx}/2$ ceros. El resultado se muestra en la Tabla 2.

Ahora se presenta un ejemplo de codificación Johnson-Möbius modificado [17]. Para el mismo conjunto de números: para cada número r_i del conjunto r, se generan $r_{máx}$-r_i ceros concatenados con r_i unos. El resultado se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Codificación del conjunto {26, 2, 0, 5, 15} mediante los Códigos J-M y J-M Modificado.

Decimal	J-M	J-M Modificado
26	1111111111111	1111111111111111111111111
2	1100000000000	0000000000000000000000011
0	0000000000000	0000000000000000000000000
5	1111100000000	0000000000000000000011111
15	0011111111111	0000000000011111111111111

Memorias Asociativas Bidireccionales Alfa-Beta

En general, cualquier modelo de memoria asociativa bidireccional (BAM) presente en la literatura científica actual se podría esquematizar como se muestra en la Fig. 3:

Fig. 3. Esquema general de una Memoria Asociativa Bidireccional

La BAM general es una "caja negra" que opera de la siguiente forma: dado un patrón **x** obtiene el patrón asociado **y**, y dado el patrón **y** obtiene el patrón asociado **x**. Además, si se asume que $\tilde{\mathbf{x}}$ y $\tilde{\mathbf{y}}$ son las versiones ruidosas de **x** y **y**, respectivamente, se espera que la BAM recupere los patrones correspondientes, **x** y **y**, libres de ruido.

El modelo de la BAM Alfa-Beta se muestra en la Fig. 4. En la fase de aprendizaje se construyen dos memorias Alfa-Beta: *máx* y *mín* utlizando el operador α.

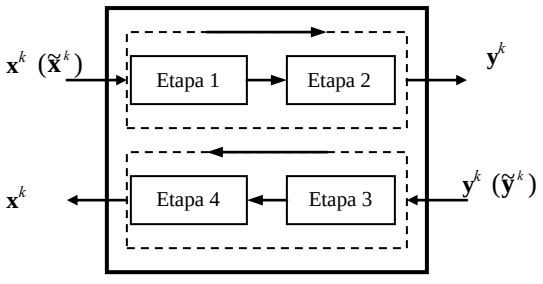


Fig. 4. Esquema gráfico del modelo de la BAM Alfa-Beta.

En la Etapa 2 se construye un *Linear Associator* con los patrones $\mathbf{y}^{\mu}$, usando un algoritmo de modificación original: se toman los vectores $\mathbf{y}^{\mu}$ con $\mu = 1, 2,..., p$ y se acomodan, en columnas, en una matriz **Lay**.

En la fase de recuperación, el patrón presentado a la BAM deberá ser operado con las dos memorias construidas en la fase de aprendizaje. Para el reconocimiento se utiliza el operador β.

La idea de conjuntar dos tipos de memorias asociativas Alfa-Beta, tanto en la etapa de aprendizaje como en la de recuperación, es que este modelo sea capaz de manejar patrones ruidosos afectados por ruido aditivo o sustractivo, pero, debido a que este modelo de BAM está basado en los operadores Alfa y Beta, hereda las mismas limitaciones ante el manejo del ruido mezclado.

Experimentos y Resultados

El algoritmo fue implementado con el lenguaje de programación Microsoft Visual C# 2008 Express Edition ® y fue probado en una PC con un procesador Intel Pentium 4® y 1 GB de memoria RAM, el sistema operativo fue Microsoft Windows XP Professional®.

Descripción de la Base de Datos

La información fue tomada la base de datos Parkinson's Disease Telemonitoring de la Universidad de Oxford. Está conformada por un rango de mediciones biomédicas de las voces de 42 personas con PD en una etapa temprana, aisladas por un lapso de 6 meses y monitoreadas mediante un dispositivo remoto. El número total de registros es de 195, de los cuales 147 perteneces a la clase Parkinson (clase 1) y 48 son de la clase sin-Parkinson (clase 2). La base de datos fue creada en Junio de 2008.

El primer paso para iniciar la fase de aprendizaje es binarizar cada uno de los registros de la base de datos. El proceso se muestra en la Fig. 5.

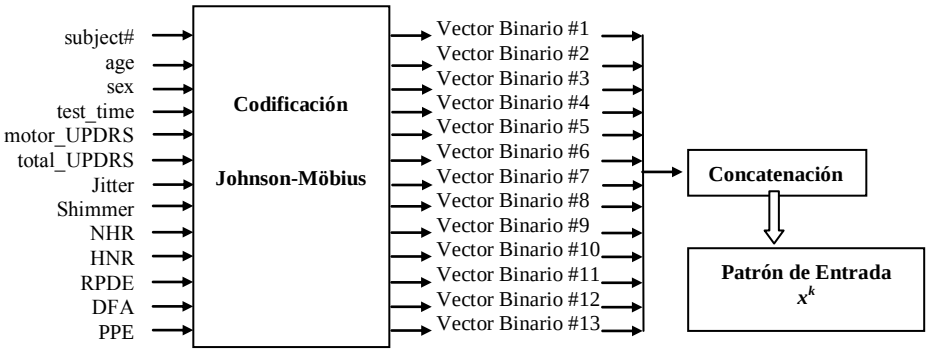


Fig. 5. Binarización de los atributos mediante la codificación Johnson-Möbius modificada.

Los registros binarizados se utilizan para entrenar a la memoria. Para probar el desempeño de nuestro modelo propuesto, se utilizaron tres métodos: Hold-Out, K-Fold Cross-Validation y Leave One Out.

Prueba Hold-Out

La base de datos fue dividida en dos conjuntos, uno de ellos corresponde al conjunto de entrenamiento y el otro al conjunto de prueba. Los elementos de cada conjunto fueron elegidos aleatoriamente. El tamaño de los conjuntos se fue variando, desde 2% para entrenamiento y 98% para prueba hasta 98% y 2% para entrenamiento y prueba, respectivamente. Se realizaron 15 pruebas para cada par de conjuntos. La Tabla 4 muestra los resultados.

Muchos de los trabajos que realizan clasificación toman la efectividad con el tamaño del conjunto de entrenamiento del 80%. En nuestro caso, para ese porcentaje, obtuvimos el 98.17% de efectividad.

Prueba K-fold Cross-Validation

Para esta prueba se dividió la base de datos en 10 conjuntos ($K = 10$) con el mismo número de elementos, procurando mantener la proporción del número de registros en ambas clases, ya que la base de datos no está balanceada. Por tanto, se tuvieron 9 conjuntos con 20 registros: 15 registros de la clase Parkinson y 5 de la clase No-Parkinson, y un conjunto con 15 registros: 12 de la clase 1 y 3 de la clase 2.

Tabla 4. Resultados del algoritmo de prueba Hold-Out

Conjunto de Entrenamiento (%)	Efectividad (%)
2	28.73
10	61.53
20	82.40
30	86.20
40	88.27
50	91.27
60	96.00
70	96.87
80	98.13
90	98.93
98	99.87

Se tomó el primer conjunto K1 como conjunto de prueba y el resto como conjunto de aprendizaje, después, el conjunto K2 fue tomado para prueba y los conjuntos restantes para entrenamiento y así sucesivamente hasta tomar los 10 conjuntos. Se realizaron 20 cálculos para cada prueba. La Tabla 5 muestra los resultados.

Tabla 5. Resultados del algoritmo K-fold Cross-Validation

Conjunto	Efectividad (%)
K1	98
K2	98
K3	97
K4	100
K5	100
K6	96
K7	98
K8	98
K9	99
K10	98
Promedio	**98.2**

De la Tabla 5 se puede observar que la efectividad más baja es del 96% mientras que la mejor fue del 100% dando un promedio de 98.2%

Prueba Leave-One-Out

Para esta prueba, se deja fuera del conjunto de aprendizaje el primer registro el cual sirve para prueba, a continuación se aparta el segundo registro y se aprende con el resto de los registros, y así sucesivamente. Este proceso se realiza 195 veces. La efectividad obtenida con esta prueba fue del 95.19%. En la Tabla 6 se muestran los resultados.

Tabla 6. Resultados del algoritmo de prueba Leave-One-Out

Clase	Efectividad
Parkinson	94.55 (8 errores)
No-Parkinson	95.83 (2 errores)
Total	95.19%

La Tabla 7 muestra los resultados de los tres métodos de prueba. En esta tabla 7 podemos observar que el promedio de la efectividad de los tres métodos de prueba fue del 97.17%. Sin embargo, no podemos asegurar que éste es un buen resultado sin haberlo comparado con otros algoritmos de clasificación.

Por lo tanto, en la Tabla 8 se muestran los resultados de otros cuatro métodos que utilizan la misma base de datos.

Tabla 7. Resultados de los tres métodos de prueba

Metodo	Efectividad (%)
Hold Out (80% entrenamiento)	98.13
K-fold Cross-Validation (*K*=10)	98.2
Leave One Out	95.19
Promedio	97.17

Estos algoritmos utilizan diferentes enfoques al utilizado en esta propuesta, como son: Redes Neuronales Probabilísticas (**PNN**, *Probabilistic Neural Networks*), Información Mutua (**MI**, *Mutual Information*), Máquinas de soporte vectorial (**SVM**, *Support Vector Machine*) y la combinación de Redes Neuronales con SVM (NN-SVM).

Tabla 8. Resultados de la efectividad de los 5 algoritmos: PNN, MI, SVM, NN-SVM and BAM Alfa-Beta

Metodo	Efectividad (%)
Redes Neuronales Probabilísticas	81.74
Información Mutua	81.53
Máquina de soporte vectorial	62.217
NN-SVM	93.33
BAM Alfa-Beta	97.17

El trabajo que utiliza MI probó su algoritmo con la Leave-One-Out y obtuvo el 81.53% de clasificación. Con el mismo método de prueba, nuestra propuesta obtuvo el 95.19% de efectividad. Por otro lado, el resultado del algoritmo PNN fue del 81.74% de efectividad utilizando la prueba Hold-Out, con un conjunto de entrenamiento del 70% y un conjunto de prueba del 30%. Para la misma prueba, nuestro modelo obtuvo el 96.87% de efectividad. En el caso en donde se utiliza SVM, los autores realizaron sus pruebas con *K*-fold Cross-Validation variando *K* desde 2 hasta 10, encontrando que su mejor resultado fue del 62.217% de efectividad con $K = 10$. La BAM Alfa-Beta, bajo las mismas condiciones, mostró una efectividad del 98.2%. Finalmente, la efectividad del método NN-SVM fue del 93.33%, sin embargo, no se hace mención del método de prueba. De una u otra forma, cualquiera de los resultados de los tres métodos de prueba obtenidos por la BAM Alfa-Beta es mayor que 93.33%.

Conclusiones

La enfermedad de Parkinson se ha convertido en una enfermedad neurodegenerariva frecuente que ha afectado a mucha gente alrededor del mundo. Por lo tanto, es importante contar con un sistema capaz de diagnosticar pacientes con esta enfermedad.

Los modelos asociativos Alfa-Beta han mostrado ser una opción como herramienta para muchas aplicaciones, y recientemente han sido utilizados, específicamente, como clasificadores mejorando los resultados mediante la codificación Johnson-Möbius modificada.

La implementación de la memoria asociativa bidireccional Alfa-Beta junto con la codificación de los patrones, mostró mejores resultados que los obtenidos por otros enfoques. El nuestro superó al algoritmo de Información Mutua en un 13.66% de efectividad y a las Redes Neuronales Probabilísticas en un 15.13%. La diferencia entre nuestra BAM y el SVM fue del 35.983% de efectividad, además mostró mejores resultados que NN-SVM aún sin conocer cuál fue el método de prueba.

Estos resultados confirman el hecho de que los modelos asociativos son competitivos con los enfoques tradicionales en la tarea de clasificación.

Referencias

[1] M.-Hallet and W.-Poewe, *Therapeutics of Parkinson´s disease and other movements disorders*. West Sussex, UK: John Willey and Sons, 2008, pp. 3-4.
[2] World Health Organization. Available: http://www.who.int.
[3] National Parkinson Foundation. Available: http://www.parkinson.org/parkinson-s-disease.aspx.
[4] P.D. Acton and A. Newberg, "Artificial network classifier for the diagnosis of Parkinson´s disease using [99mTc]TRODAT-1 and SPECT", *Phys Med Biol.* Vol. 51, no. 12, pp. 3057-66, 2006.

[5] A. Ericsson, M.N. Lonsdale, K. Astrom, L. Edenbrandt and L. Friberg, "Decision Support System for the Diagnosis of Parkinson's Disease". *Image Analysis, Lecture Notes in Computer Science* vol. 3540, pp. 740-749, 2005.
[6] H. Yoshida, K. Nakagawa, H. Anai and K. Horimoto, "Exact Parameter Determination for Parkinson's Disease Diagnosis with PET Using an Algebraic Approach", *Algebraic Biology, Lecture Notes in Computer Science* vol. 4545, pp. 110-124, 2007.
[7] N.L. W. Keijsers, M.W.I.M. Horstink and C.C.A.M. Gielen, "Automatic, unsupervised classification of dyskinesia in patients with Parkinson's Disease", *Proceedings of ICANN/ICONIP* pp. 216-119, 2003.
[8] M. Djurić-Jovičić, N.S. Jovičić, I. Milovanović, S. Radovanović, N. Kresojević and M.B. Popović, "Classification of walking patterns in Parkinson's disease patients based on inertial sensor data", *Neural Network Applications in Electrical Engineering (NEUREL)* pp. 3-6, 2010.
[9] Parkinsons Telemonitoring Data Set. Available: http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Parkinsons
[10] M. Ene,"Neural network-based approach to discriminate healthy people from those with Parkinson's disease", *Annals of the University of Craiova, Math. Comp. Sci. Ser.* Vol. 35, pp. 112-116, 2008.
[11] O. Sakar, O. Kursun, "Telediagnosis of Parkinson's Disease Using Measurements of Disphonia", *J. Med. Syst.* vol. 34, pp. 591-599, 2010.
[12] I. Bhattacharya and M. P. S. Bhatia, "SVM classification to distinguish Parkinson disease patients", *A2CWiC '10 Proceedings of the 1st Amrita ACM-W Celebration on Women in Computing in India*, 2010.
[13] D . Gil and M. Johnson, "Diagnosing Parkinson by using Artificial Neural Networks and Support Vector Machines", *Global Journal of Computer Science and Technology* vol. 9, no. 4, pp. 63-71, 2009.
[14] E. Acevedo, C. Yáñez-Márquez and I. López, "Alpha-Beta Bidirectional Associative Memories: Theory and Applications", *Neural Processing Letters* vol. 26, pp. 1-40, 2007.
[15] C. Yáñez-Márquez, "Associative Memories Based on Order Relations and Binary Operators (In Spanish)", PhD dissertation. Centro de Investigación en Computación, Mexico, 2002.
[16] M. Mano, *Diseño digital*. Prentice Hall pp. 16-26 and 292-294, 2001.
[17] R. Flores, "Johnson-Möbius modified code-based Alpha-Beta Associative Memories (In Spanish)". Ms dissertation, Centro de Investigación en Computación, Mexico, 2006.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 64. Volumen 4(5), 5 páginas.

ESTUDIO DE LA COMPRESIÓN FRACTAL DE IMÁGENES PARA PÁGINAS WEB

Hugo Iván Ascencio Martínez[1], Octavio Claudio Ramírez[2], Jesús Yaljá Montiel Pérez[3], Rodolfo Romero Herrera[4]

Resumen

La web es considerada la herramienta más versátil que existe en la actualidad para publicar, explorar y recuperar información desde Internet, en vista de ello, se requiere implementar diversas técnicas que permitan a los usuarios acceder a dicha información de forma rápida y sencilla, siendo una alternativa, la compresión fractal de imágenes en páginas web. Este estudio pretende determinar la eficiencia que presenta la compresión fractal de imágenes para páginas web, mediante la implementación de un sistema de compresión – descompresión fractal de imágenes, basado en el algoritmo quadtree, así como el empleo de una página web con dicho contenido que permita realizar pruebas para posteriormente analizarlas haciendo uso de herramientas de medición de calidad de imagen, como la métrica de calidad PSNR (Relación Señal a Ruido Máxima) así como también la medición del tiempo de transferencia de la página al ordenador.
Palabras clave: Algoritmo quadtree, compresión fractal de imágenes, página web.

Summary

The site is considered the most versatile tool available today to publish, browse and retrieve information from the Internet, in view of this, it is necessary to implement various techniques that allow users to access the information quickly and easily, with a Alternatively, the fractal image compression on web pages. This study aims to determine the efficiency which has the fractal image compression on web pages, by implementing a compression system - fractal image decompression algorithm based on quadtree and the use of a web page with such content that allows further tests to analyze, using the measurement tools quality of the image, as the quality indicator PSNR (Maximum Signal to Noise Ratio) as well as measuring the transfer time to the computer page.
Keywords: Quadtree Algorithm, Fractal Image Compression, Web Page.

Introducción

El intercambio de información a través de Internet es una necesidad que ha venido creciendo de manera exponencial a lo largo de los años, desde el comienzo de la era tecnológica, (a principios de los años 70´s con la creación de las redes de computadoras), hasta hoy en día. Actualmente, resulta indispensable acceder a la información contenida en páginas web desde cualquier computador, sin embargo, se deben tener en consideración algunos factores importantes en relación con dicho proceso, siendo entre ellos el más importante: la cantidad de información contenida en las páginas web, esto debido a que, tanto más bits de información contengan, más tiempo tardarán en ser transferidas del servidor a un ordenador.

Otro aspecto a considerar es el ancho de banda, un ancho de banda limitado disminuye sustancialmente la capacidad de transferencia de datos, lo cual se ve reflejado en un costo excesivo de tiempo al cargar una página web. Existen factores externos que influyen directamente en la transmisión de información a través de Internet, tales como: el tipo de conexión física, la saturación de la red, la capacidad del ordenador, la negociación entre dispositivos de red, entre otros, por ello, es necesario buscar técnicas que permitan reducir el efecto que estos factores tienen al transmitir información de un servidor hacia un ordenador cualquiera.

[1,2,3,4] Escuela Superior de Cómputo del IPN. E-mails: [1] norbacivan@gmail.com, [2] claucrox711@hotmail.com, [3] yalja@ipn.mx, [4] rromeroh@ipn.mx

La compresión de imágenes es un método que permite reducir la cantidad de espacio en bits necesarios para almacenar una imagen, conservando su calidad hasta cierto punto, resulta tentador implementar este mecanismo en imágenes contenidas en páginas web, para permitir así, reducir el tamaño total en bits de la página, permitiendo transmitirla más rápidamente a través de la red.

Algunos de los esquemas de compresión más conocidos son: JPEG (Joint Photografic Experts Group) que utiliza un algoritmo de compresión con perdida de información que sea imperceptible para el ojo humano, mediante la aplicación de la DCT (Transformada Discreta del Coseno), el GIF (Graphics Interchange Format) que brinda una compresión sin perdidas de información y permite el tratamiento de imágenes animadas y el PNG (Portable Network Graphics) que al igual que el GIF es un sistema de compresión sin perdida de información que se basa en la eliminación redundante de color en la imagen.

Actualmente en la web, el formato de compresión más usado es el JPEG que registra una compresión significativa del orden máximo de 1:60 [1]. La compresión fractal presenta una variación mayor comparando la razón de compresión de la imagen con la calidad obtenida, es decir, el aumento en la razón de compresión sacrifica la calidad de la imagen en menor proporción, por el contrario, formatos como el JPEG lo hace en proporciones más significativas, aunque si bien es cierto, el proceso de compresión lleva más tiempo, la descompresión es presumiblemente rápida, lo que hace a este mecanismo de compresión aun más tentador de implementar en imágenes para la web.

Dentro de los métodos de compresión fractal se encuentran: la compresión fractal basada en ISF (Sistema de Funciones Iteradas), así como la compresión fractal basada en similitudes [2]. Para estos métodos se tiene una razón máxima de compresión del orden de 1:120 [3].

Por lo mencionado anteriormente la compresión fractal de imágenes presenta ventajas en comparación a otros formatos de compresión tales, como son: detalle a todo nivel de la imagen comprimida, descompresión rápida, razón de compresión considerable, así como también presenta algunas desventajas como: tiempo de compresión significativo, no resulta aplicable para todos los tipos de imágenes, entre otros.

Si bien es cierto que actualmente se cuentan con anchos de banda que permiten transmitir gran cantidad de información en pocos segundos, en contraparte, existen dispositivos que disponen de un ancho de banda limitado, y por ello, requieren acceder a páginas web sin consumir tantos recursos de almacenamiento, procesamiento y trasferencia de información, tal es el caso de algunos dispositivos móviles.

Por sus características, el uso de este tipo de compresión, permite a los usuarios ahorrar recursos en almacenamiento y costos de transmisión, sin embargo, no resulta conveniente aplicar la compresión fractal en cualquier tipo de imagen, es decir, debido a se basa en la reducción de información redundante mediante búsqueda de similitudes, resultaría poco efectivo aplicar dicha técnica a imágenes que contengan pocos detalles, por ejemplo en texto plano.

Así entonces, lo que se pretende, es determinar en base a mediciones de compresión (razón de compresión) y calidad resultante de la imagen (PSNR (Relación Señal a Ruido Máxima)), si resulta conveniente o no el utilizar imágenes comprimidas de forma fractal en páginas web (páginas que contengan gran cantidad de imágenes) en comparación con el formato JPEG, para lograr así, hacer mas eficiente el acceso a la información en Internet [4].

Materiales y métodos

Se dispone de un sistema que permita comprimir de manera fractal imágenes bmp (Bit Mapped Picture) y descomprimir a su formato original, dado que la compresión fractal presenta perdidas de información, la descompresión no permite recuperar la imagen original por completo, sin embargo, se pretende que dicha perdida sea poco significativa, y por tanto, poco perceptible para el ojo humano. Se hace uso de un algoritmo denominado quadtree para dicho sistema, el cual, busca eliminar información redundante de la imagen a través de la búsqueda de similitudes entre fragmentos de pixeles de 8x8 (ver Fig. 1), mediante parámetros ya predefinidos. Posteriormente, las imágenes comprimidas sustituirán a imágenes JPEG contenidas en una página web, para de esta forma, realizar las pruebas correspondientes con dicha página en cuanto a tiempo de transferencia y calidad de las imágenes, finalmente, se analizarán los resultados para obtener las conclusiones pertinentes del estudio.

El algoritmo quadtree del sistema de compresión, se basa en la descomposición recursiva del espacio bidimensional (adoptando el principio de la geometría fractal), por la simple necesidad de almacenar datos que contengan valores similares, tomando como objetivo primordial la reducción de los tiempos de búsqueda de dominios en la imagen, ya que este aspecto requiere un mayor uso de procesamiento computacional.

En lo que respecta a la teoría matemática utilizada en el sistema de compresión antes mencionado, se considera el término fractal como una imagen auto-similar que posee detalle a cualquier escala, siendo su principal característica su dimensión fractal, es decir, si la dimensión fractal de la imagen es mayor a su dimensión topológica, entonces será considerada fractal, de lo contrario, no lo será. Una vez comprendido esto se consideran algunas transformaciones afines de la imagen dentro del mismo plano, las cuales

transforman la imagen original de tres formas: rotación (girar la imagen), traslación (mover la imagen) y escalamiento (incrementar o reducir el tamaño original de la imagen), estas transformaciones pueden ser representada mediante una función lineal tal como:

$$f(x) = ax + b, \forall x \in R \tag{1}$$

Sin embargo la ecuación (1) no resulta del todo conveniente de aplicar en un plano euclidiano, por lo cual, se requiere adecuar (1) resultando una transformación afín de la imagen en dos dimensiones:

$$w(x,y)=(ax+by+e,cx+dy+f) \tag{2}$$

donde: $a,b,c,d,e,f \in R$
x - coordenada horizontal
y - coordenada vertical
e - desplazamiento eje x
f - desplazamiento eje y

Resulta conveniente simplificar (2) como una ecuación de matrices, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$w(x) = w\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \end{pmatrix} = Ax + T \tag{3}$$

donde:

$$A = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$$

y

$$T = \begin{pmatrix} e \\ f \end{pmatrix}$$

Considerando las transformaciones antes mencionadas (escalamiento, rotación y traslación) de la imagen, es necesario, contar con parámetros que influyan de acuerdo a dichas transformaciones en la ecuación (3), véase la siguiente ecuación.

$$A = \begin{pmatrix} r\cos\theta & -rsen\theta \\ rsen\theta & r\cos\theta \end{pmatrix} \tag{4}$$

donde: r - factor de escalamiento
θ - Ángulo de rotación

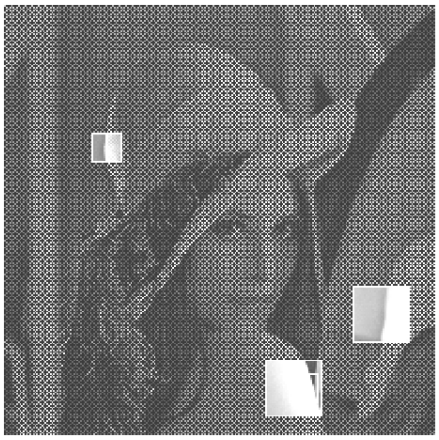


Fig. 1. Similitudes encontradas como resultado de la aplicación del algoritmo de búsqueda.

Son este tipo de transformaciones las que hacen posible al algoritmo de compresión buscar similitudes entre áreas de pixeles de la imagen, comparándolas entre sí (rotando, expandiendo y trasladando) para de esa manera poder encontrar similitudes. Es esta búsqueda de dominios la que hace a la compresión fractal un tipo de compresión tardada. Sin embargo, aún se tienen amplias expectativas en mejorar el tiempo de búsqueda de dominios.

Tras dicho proceso de compresión, el estudio requiere del desarrollo de una página web sobre la cual se elaborarán las pruebas correspondientes, en este caso, la elaboración de dicha página es relativamente sencilla teniendo como característica primordial su contenido fractal (imágenes anteriormente comprimidas) y elaborada en lenguaje *html*, para permitir así, medir los tiempos de transferencia de ésta a través de la red.

Resultados

La viabilidad obtenida del estudio depende directamente de tres factores, la velocidad de transferencia de la página web, la razón de compresión y calidad resultante de la imagen comprimida. En la Fig. 2 se muestran dos imágenes comprimidas fractalmente con diferente calidad.

Observe (Fig. 2) que por obvias razones la imagen comprimida con un mayor índice de calidad (imagen derecha), representa una razón de compresión menor, sin embargo, presenta una diferencia poco significativa. Esto indica que, la compresión fractal varía de forma poco sensible en relación a la calidad resultante de la imagen en la razón de compresión obtenida, tal como puede observar en la siguiente gráfica.

La imagen de Lena es la que ha entregado resultados más variados en el desarrollo de la investigación, entregando un amplio rango de tiempos así como un rango bastante variado en los valores de compresión resultando en una buena imagen para la experimentación de la compresión fractal.

Observe (Fig. 2) que por obvias razones la imagen comprimida con un mayor índice de calidad (imagen derecha), representa una razón de compresión menor, sin embargo, presenta una diferencia poco significativa. Esto indica que, la compresión fractal varía de forma poco sensible en relación a la calidad resultante de la imagen en la razón de compresión obtenida, tal como puede observar en la siguiente gráfica.

La imagen de Lena es la que ha entregado resultados más variados en el desarrollo de la investigación, entregando un amplio rango de tiempos así como un rango bastante variado en los valores de compresión resultando en una buena imagen para la experimentación de la compresión fractal.

La Fig. 3 denota lo mencionado anteriormente, la compresión fractal sufre cambios menos drásticos en la calidad de la imagen obtenida al aumentar la razón de compresión lo que presenta una gran ventaja en comparación con el tipo de compresión JPEG.

Discusión

Las nuevas tecnologías de la información aplicadas al mundo real, exigen un sofisticado tratamiento de la imagen. La necesidad de compartir con facilidad documentos enriquecidos (con imágenes) en un entorno de red, requiere disponer de soportes de almacenamiento adecuados y velocidades de transferencia aceptables [5]. De igual manera sugieren un incremento en la capacidad de procesamiento de datos, ya que cuentan con anchos de banda considerables, sin embargo, a lo largo de ésta evolución, se ha requerido escatimar recursos principalmente de almacenamiento.

Fig. 2. Imágenes comprimidas fractalmente con calidad mínima (imagen izquierda) y calidad máxima (imagen derecha)

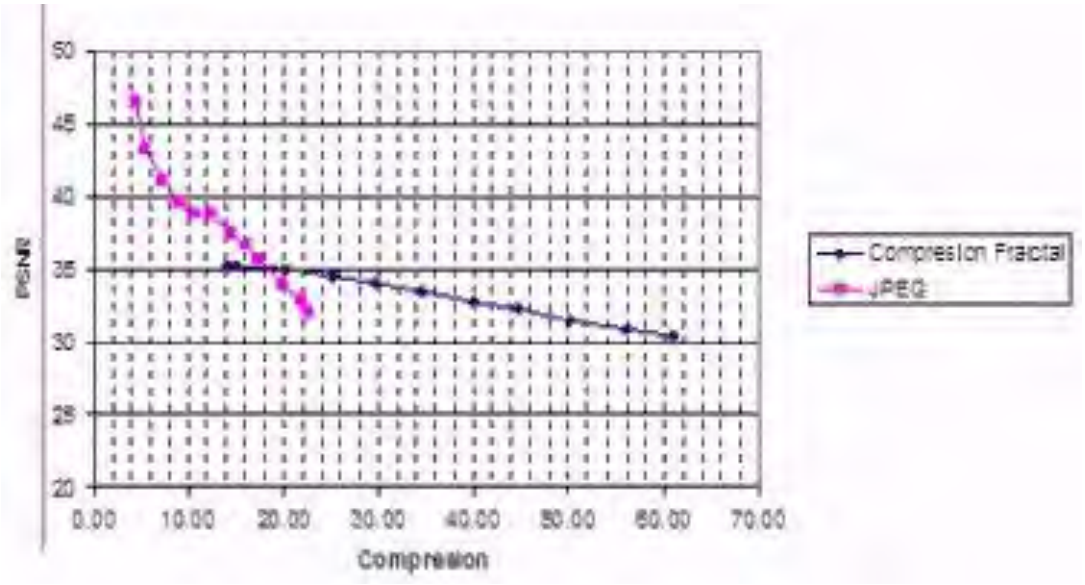


Fig. 3. Gráfica comparativa compresión fractal vs JPEG en calidad y compresión.

Este estudio pretende brindar un panorama más amplio a los usuarios de Internet sobre herramientas que les permitan ahorrar recursos de transferencia de datos, tiempo y dinero. Se pretende implementar un sistema de compresión fractal de imágenes para páginas web en RGB, ya que hoy en día se demandan sitios en la web con gran cantidad de información de color.

El problema de la compresión es muy complejo. Hay que estudiar formas de comprimir que sean reversibles ya que es necesario recuperar la información original o con alguna modificación que nos permita reconocerla. Para estudiar si un método de compresión – descompresión es bueno, hay que analizar diferentes criterios: la razón de compresión, el tiempo de compresión, el tiempo de descompresión, así como la calidad de la información que se obtiene tras el proceso. Si se trata de comprimir una imagen para almacenarla o mandarla por la red, podemos incrementar el tiempo de compresión a cambio de recibir una mayor razón de compresión y una buena calidad de la imagen. Este es el caso de la compresión fractal que se caracteriza por tener un tiempo de compresión muy alto pero un tiempo de descompresión muy pequeño, buena calidad de la imagen y una buena razón de compresión [6].

Referencias

[1] Shneier, M. Abdel-Mottaleb, M. “Exploiting the JPEG compression scheme for image retrieval”. Patern Analysis and Machine Intelligence. IEEE, 2002.

[2] Raouf Hamzaoui. “Fast Iterative Methods for Fractal Image Compression”. Journal of Mathematical Imaging and Vision 11, (1999). p. 147–159.

[3] Yuval Fisher Editor. “Fractal Image Compression: Theory and Application”. Springer-Verlag 1995.

[4] J. Paz, A.Bosch. “La calidad en las imágenes de resonancia magnética comprimidas con JPEG2000”. Centro de Estudios de Electrónica y Tecnología de la información, 2007. p. 1.

[5] Carlos Moreno-Sanza, b, c, Arturo Almeida-Guevarad, Ana Pascual-Pedreñoe y José Seoane-González. “Internet y la cirugía laparoscópica: un reto para el futuro”, 2002. p. 4-5.

[6] Pou-Yah Wu, “Fast fractal image compression”, Information Technology: Coding and Computing, 2000.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 98. Volumen 4(5), 7 páginas.

PREDICCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA USANDO REDES NEURONALES

FORECASTING ELECTRICITY CONSUMPTION USING NEURAL NETWORKS

José Luis Rojas Rentería[1], Ricardo Luna Rubio[2]

Resumen

La demanda de la energía eléctrica en los sectores industrial, comercial y habitacional representa una problemática actual para predecir con tiempo de anticipación el consumo eléctrico en dichos sectores; con la finalidad de evitar multas impuestas por las respectivas compañías suministradoras de energía eléctrica; se propone desarrollar un sistema de predicción de demanda de energía eléctrica para edificios inteligentes utilizando redes neuronales artificiales (RNA) que nos permita una predicción del consumo eléctrico con tiempo de anticipación de 1 hora, y en consecuencia una mejor administración de la energía en los edificios. Las variables utilizadas como entradas al modelo neuronal de predicción fueron: temperatura y humedad relativa, además del consumo de energía eléctrica y el tiempo. El algoritmo utilizado para la predicción fue Levenberg-Marquardt. El modelo de validación se realizó comparando los resultados con un modelo de regresión no lineal y datos reales con análisis de varianzas (ANOVA). Los resultados obtenidos del modelo 4-4-1 de predicción fueron de un 95 % de confiabilidad.

Palabras clave: ANOVA, red neuronal, predicción, energía eléctrica.

Summary

Demand for electricity in industrial, commercial and residential sectors represents a current problem to predict ahead of time electricity consumption in these sectors in order to avoid penalties imposed by the respective companies supplying electricity, plans to develop a system forecasting electricity demand for intelligent buildings using artificial neural networks (ANN) that allows us a prediction of power consumption ahead of time of 1 hour, and therefore better management of energy in buildings. The variables used as inputs to the neural prediction model were: temperature and humidity, as well as power consumption and time. The algorithm used for prediction was Levenberg-Marquardt. The model validation was performed by comparing the results with a non-linear regression model and actual data with analysis of variance (ANOVA). The results of the 4-4-1 model prediction were 95% reliability.

Keywords: ANOVA, Neural Network, Predictive, Electric Power.

Introducción

Las actividades industriales, comerciales y habitacionales están creciendo rápidamente en todas las regiones, tratando de ganar mercados a sus competidores; estas actividades dependen del incremento de demanda de energía eléctrica, debido a que es la base de su desarrollo. A escala global, los edificios son responsables de aproximadamente un 40% del consumo de energía anual a nivel mundial [1], la mayor parte de ésta es empleada para proveer de iluminación, calefacción, enfriamiento y ventilación. Ante esta problemática, se ha buscado mejorar la eficiencia energética de dispositivos eléctricos y de control [2].El almacenamiento y generación, así como la distribución de energía eléctrica son los medios más significativos de optimización en los edificios [3].

La demanda de energía eléctrica en México, crecerá a un ritmo anual promedio de 5.7 % durante el periodo 2010 a 2012, mientras que la capacidad instalada de generación crecerá al 3.9 % [4]. De acuerdo con este escenario, la demanda eléctrica crecerá en mayor proporción que la capacidad instalada de generación, lo cual reducirá los márgenes operativo y de reserva. Creciendo con una tasa anual del 5.7 %, la demanda nacional de energía eléctrica pasaría de 195 Tera Watts hora (TWh) en el año 2007 a 264 TWh en el 2012.

[1] Departamento de Automatización y Energía, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro.
[2] Departamento de Energías Renovables, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro.

La problemática anterior se puede enfrentar mediante modelos de predicción de demanda de energía eléctrica, esto causó un gran interés desde el momento en que se instalaron las redes eléctricas como un sistema de transporte y distribución de energía, así como la proliferación del uso masivo de energía eléctrica en el entorno industrial, comercial y doméstico. Por lo cual, la predicción es útil para diferentes usos, tales como aspectos económicos, planeación, mantenimiento, generación de recursos humanos y materiales, costos, operación, diseño e investigación, así como predecir el consumo de energía en invernaderos. [5] realiza un análisis de predicción de consumo eléctrico en invernaderos, utilizando redes neuronales artificiales y muestra las ventajas de las redes neuronales a través de un enfoque de análisis de varianza obteniendo hasta un 95 % de nivel de confianza.

Actualmente, el uso de predicción de la demanda de energía eléctrica ha utilizado redes neuronales artificiales. En [6] desarrollan una red neuronal para el encendido de oficinas en los edificios, utilizando la temperatura y los días de la semana para estimar la demanda de consumo calorífico y de electricidad; las redes neuronales las emplea para obtener el proceso de información entre las entradas y salidas, conectadas por un gran número de eslabones, generalmente realizando un funcionamiento no lineal a través de un software llamado "neuroshell". [7] reporta la utilización de redes neuronales con información de temperatura interna, controlando el aire acondicionado para la predicción de la demanda de energía eléctrica. [8] propuso un mapa auto-organizado como modelo de red neuronal para la predicción a corto plazo de la demanda de energía eléctrica obteniendo una curva de demanda por medio de las horas del día siguiente. [9] utilizan un modelo de predicción de cargas de energía eléctrica llamado red neuronal en combinación con la corrección del error (RBFNN) basado en la demanda de consumo de energía para aire acondicionado en edificios.

El propósito de este trabajo es desarrollar un sistema de predicción de demanda de energía eléctrica para edificios inteligentes a través de modelos de redes neuronales que nos permita una predicción del consumo eléctrico con tiempo de anticipación de 1 hora, y en consecuencia una mejor administración de la energía en los edificios. Las variables utilizadas como entradas al modelo neuronal de predicción son: temperatura y humedad relativa, además del consumo de energía eléctrica y el tiempo. El modelo de validación se realiza comparando los resultados con un modelo de regresión no lineal y datos reales mediante el análisis de varianzas.

Este trabajo está estructurado de la siguiente manera, en la sección 2 se encuentran las consideraciones teóricas y matemáticas para el análisis y monitoreo de las variables de energía eléctrica; en la sección 3 se muestran los materiales y métodos utilizados, como el tipo de sensores, software y sus características; en la sección 4 se encuentran los resultados obtenidos del sistema de monitoreo de energía eléctrica; y las conclusiones son mostradas en la sección 5, así como los trabajos futuros relacionados a este tema.

Consideraciones teóricas

Hoy en día las redes neuronales son una excelente herramienta para realizar diversas tareas como son: reconocimiento de patrones (objetos en imágenes y dibujos), reconocimiento del habla, detección de explosivos, identificación de rostros humanos (en los aeropuertos para saber que personas entran y salen del mismo), realizar comprensión de datos, videojuegos, aprendizaje artificial y predicciones. Éstas son aplicadas para resolver problemas ya que existen ciertos procesos para los que no existen algoritmos para resolverlos (como puede ser el reconocimiento de imágenes); esto ocurre porque los algoritmos son exactos, mientras que las redes neuronales tienen más flexibilidad [10].

Una red neuronal se compone de neuronas de entrada, neuronas ocultas y neuronas de salida. Cada una de éstas se agrupa en capas. La última capa de salida, suele tener una menor cantidad de neuronas que las capas de entrada. Los datos se propagan por toda la red partiendo desde las neuronas de entrada hasta llegar a las neuronas de salida. A su paso van cargando los pesos de cada una de éstas. Lo que generalmente importa es solo el peso final de las neuronas de salida. Cuando las señales de salida se transmiten a las neuronas de entrada, el conjunto de señales se procesa nuevamente modificando los pesos neuronales. La discusión sobre si este proceso converge a estados específicos para cada neurona a través de las iteraciones es complejo, pero muchas veces es así. Es decir que las redes neuronales minimizan o maximizan los valores hasta encontrarlos óptimos. Los nodos escondidos con las funciones de transferencia no lineales son usados para procesar la información recibida por los nodos de entrada. La red puede ser escrita como:

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{j=1}^{n} \alpha_j f\left(\sum_{i=1}^{m} \beta_{ij} y_t + \beta_{0j}\right) + \varepsilon_t \quad (1)$$

donde m es el número de nodos de entrada, n es el número de nodos escondidos, f es una función de transferencia sigmoidea, como la función logística:

$$f(x) = \frac{1}{1+\exp^{(-x)}} \left\{\alpha_{ij} = 0,1,...,n\right\} \quad (2)$$

También llamada como vector de pesos desde los nodos escondidos hasta los nodos de salida. α_0 y β_{0j} son los pesos de los arcos principales de los términos parciales, los cuales tiene valores siempre igual a 1 [11], [12], [13]

Se requieren varias iteraciones para entrenar una red pequeña, incluso para un problema simple. Reducir el número de iteraciones y agilizar el tiempo de aprendizaje de las RNAs, son temas de investigación reciente; algunas mejoras del algoritmo de retro propagación son la pendiente del gradiente [14] y el algoritmo de Levenberg-Marquardt [15], [16] que es el que utilizaremos para probar nuestros modelos.

La medida de funcionamiento más importante y decisiva de los modelos RNA es la exactitud de la predicción. Una medida de la exactitud se define a menudo en términos del error de predicción, que es la diferencia entre el valor medido y el estimado. Hay un número de medidas de exactitud en la literatura de la predicción, y cada uno tiene ventajas y limitaciones [17]. Entre los más frecuentemente usados están: el error medio cuadrático (MSE) (ecuación 3); el error medio cuadrático de la raíz (RMSE), (ecuación 4); y el error de porcentaje de la media absoluta (MAPE) (ecuación 5).

$$MSE = \frac{\sum (e_t)^2}{N} \tag{3}$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} \tag{4}$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum \left| \frac{e_t}{y_t} \right| (100) \tag{5}$$

donde: e_t es el error de predicción individual; y_t es el valor actual; y N es el número de términos del error.

La gama de usos de los modelos RNA está aumentando constantemente. Su uso en aplicaciones relacionadas con la administración y manejo de energía comienza a principios de los años 90. [18] proporciona una exhaustiva descripción de las aplicaciones de las RNAs en sistemas de energía renovable y en edificios.

El modelo RNA aplicado en este estudio, es una red con capas de entrada de 4 nodos y con una capa oculta con un número de variables de nodos ocultos, como son la temperatura (TEMP), humedad relativa (HR), tiempo (h) y el consumo de energía (kWh), con una capa de salida con un solo nodo, como se muestra en la Fig. 1.

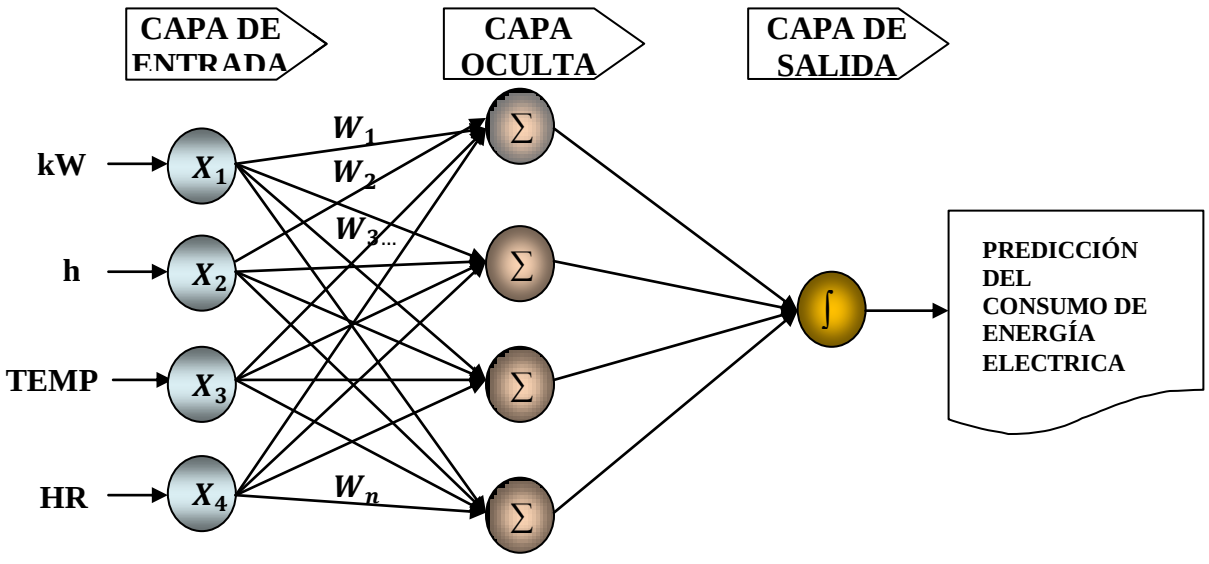


Figura 1. Red neuronal artificial.

Materiales y métodos

Descripción del edificio

El procedimiento para diseñar el modelo de predicción de demanda de energía eléctrica mediante un algoritmo de implementación de una red neuronal se llevó a cabo en el edificio de posgrado de la facultad de ingeniería en la Universidad Autónoma de Querétaro. La estructura cuenta con cinco aulas con una superficie

de 40 m^2 y una sala de juntas con una superficie de 56 m^2, 1 aula está equipada con un equipo de aire acondicionado marca York Split de 18000 BTU. La estructura del edificio es de un solo nivel de 3 m de altura, con paredes de tabique blanco y techos de concreto, además cuenta con un sistema de predicccion de temperatura interior el cual nos permite saber con tiempo de anticipación el comportamiento térmico del edificio [19].

Descripción del algoritmo

La propuesta para el modelo de predicción de demanda de energía eléctrica en los edificios es un modelo de redes neuronales artificiales con el algoritmo Levenberg-Marquardt. Con esta arquitectura de red se seleccionó el promedio de las diferencias absolutas entre los valores medidos y estimados, expresados como porcentaje de los valores medidos, ya que es una medida más fácil de interpretar dado que su resultado en porcentaje no depende de aspectos como la magnitud de los datos de entrada. Comparando los mejores resultados con pruebas de igualdad de dos o más medias con técnicas de análisis de varianza para ser validados.

Los datos del consumo de energía usados para la formación del modelo, se obtuvieron midiendo en la subestación principal del posgrado de la facultad de ingeniería con un sistema de monitoreo de energía eléctrica desarrollado en la propia facultad [20]. Los datos de temperatura y humedad relativa fueron obtenidos del día 25 de Febrero al día 12 de Marzo del 2010 con los sensores HOBO Pro V2 que permiten una rápida respuesta en la información y almacenamiento de los datos. El software HOBOware fue requerido para transportar datos de campo para su análisis. También fue necesario el día y la hora en que los datos de energía temperatura y humedad relativa fueron obtenidos. Estos datos se dividieron en 2 grupos: en el primero se seleccionó un grupo de 192.5 hrs. para utilizarse en la formación de entrenamiento de la red neuronal, y en el segundo grupo se trabajó con el resto de los datos para probar el modelo de red neuronal.

Resultados y discusión

Fueron generados varios modelos y probados de acuerdo a su rendimiento y estructurados con 210 hrs. Los datos registrados se obtuvieron del consumo de energía eléctrica del día 25 de Febrero al 12 de Marzo. El error de porcentaje de la media absoluta (MAPE) se utilizó para examinar la calidad de los modelos de predicción con la finalidad de determinar el mejor modelo de red neuronal. Se calcularon los valores MAPE para cada uno de los modelos obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 1 donde se visualizan los mejores modelos, su confiabilidad y el mejor rendimiento. El modelo 4-4-1 es el que obtuvo el mejor resultado con un 0.0537 MAPE, 0.9310 R^2 y con 0.0849 SEP en comparación con los resultados de los modelos restantes de la tabla.

Tabla 1. Comparación del error estimado para diferentes modelos de redes neuronales.

Modelo	R^2	MAPE	SEP
4-2-1	*0.9015*	*0.0628*	*0.0959*
4-3-1	*0.9270*	*0.0617*	*0.1788*
4-4-1	*0.9310*	*0.0537*	*0.0849*
4-5-1	*0.9264*	*0.0563*	*0.1094*
4-6-1	*0.9003*	*0.0662*	*0.1134*
4-7-1	*0.9153*	*0.0650*	*0.1073*
4-8-1	*0.9023*	*0.0631*	*0.1126*
4-9-1	***0.9010***	***0.0571***	***0.1094***

La Tabla 2 muestra una comparación de resultados de los modelos de predicción y de regresión lineal respecto a los datos reales, donde se observa el error porcentual absoluto medio (MAPE) de cada modelo que nos indica la predicción más adecuada y con más posibilidad de ser una predicción acertada.

La Fig. 2 compara los modelos de red neuronal y de regresión, en cuanto al MAPE, MSE y R^2. El modelo de predicción con la red neuronal artificial tiene un error menor en comparación con el modelo de regresión no lineal.

Seleccionando los resultados de la red neuronal con los resultados de la regresión y los datos reales, fueron comparados mediante un análisis de varianza para una estimación de los componentes de variación por los diversos métodos de análisis, con el objetivo de comparar los errores sistemáticos con los aleatorios obtenidos al realizar los análisis con los diversos valores medios para determinar si alguno de ellos difiere significativamente del resto (Tabla 3).

Tabla 2. Comparación de mediciones y valores estimados en modelos de Redes neuronales y regresión no lineal.

HORAS	MEDICIÓN	RNA	REGRESIÓN
109.0	4180,8	3859,18	3153,43
109.5	4023,5	4159,16	3460,33
110.0	4270,8	4339,19	3767,23
110.5	4450,6	4665,13	4074,13
111.0	4135,9	4319,69	4381,04
111.5	4315,7	4359,76	4287,94
112.0	4135,9	4459,27	4594,84
112.5	3461,6	3861,46	3501,74
113.0	5169,9	5270,13	5108,64
113.5	4900,1	5174,91	5015,54
114.0	5439,6	5493,37	5222,44
114.5	6451,1	6610,87	6529,35
115.0	7530.0	7772,6	6836,25
115.5	1497,1	1476,48	1343,15
116.0	6563,5	6645,61	6450,05
MAPE error		**0.0598**	**0.0893**

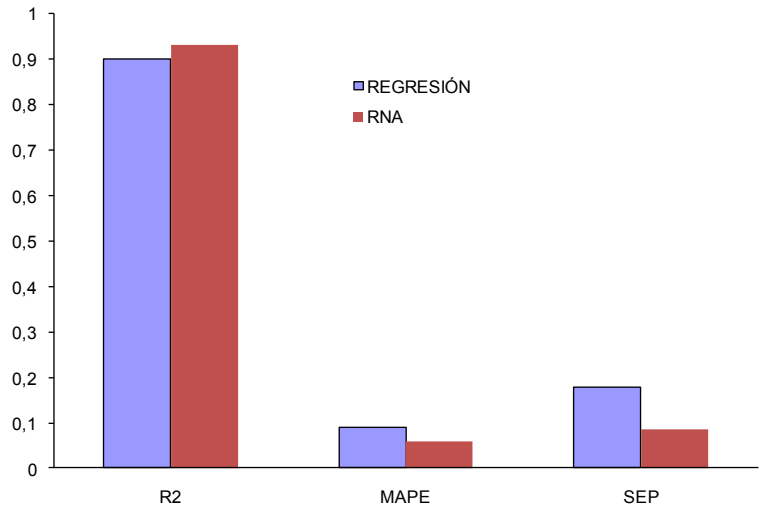


Figura 2. Comparación de error de los modelos de red neuronal y regresión.

Tabla 3. ANOVA comparación de datos entre la regresión no lineal y la red neuronal.

Summary

Groups	Count	Sum (KW/h)	Average (KM/h)
Meassured	15	70,526	4,70
Neural networks	*15*	72,466	4,83
Regression	*15*	67,726	4,15

Source	Sum square	Degree	Mean square	F	P (p-value)
Between groups	0,4109	2	0,1853	4,5	0,0173
Within groups	1,4095	41	0,0409		
Total (corr.)	1,8204	43			

Se realizaron proposiciones sobre los valores determinados en los modelos para tomar una decisión entre aceptarlos o rechazarlos mediante una herramienta de análisis de datos llamada prueba de hipótesis.

$$Ho : \mu = \mu 0 = \mu 1 \qquad H1 : \mu \neq \mu 0$$

Obteniendo un valor de P = 0.0173, definiendo la hipótesis nula al comparar los dos modelos de predicción, con $\alpha = 0.05$ aceptando la hipótesis de la prueba con un 95% de confiabilidad de que el intervalo contiene el valor medido de la población; lo anterior indica que el consumo de energía estimado para los valores seleccionados del modelo de la red neuronal artificial y los datos reales son significativamente mejores que los valores obtenidos por el modelo de regresión no lineal (Fig. 3).

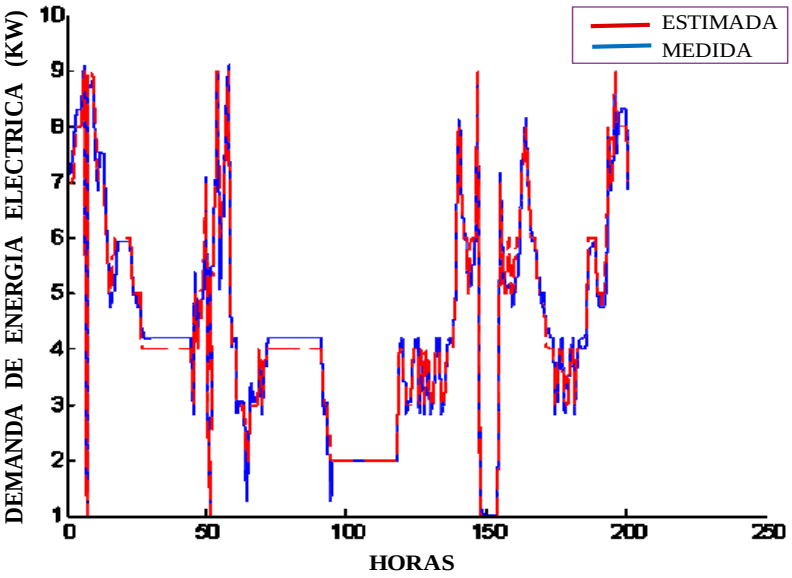


Figura 3. Valores medidos y estimados Del consumo de energía eléctrica en edificios.

Conclusiones

La construcción del modelo 4-4-1 en el algoritmo de la red neuronal artificial (RNA), fue capaz de producir los mejores resultados en la predicción del consumo de energía eléctrica, con una estimación de error de 0.0537 con los datos reales. Se utilizó el método estadístico ANOVA para estimación de la variación, comparando los resultados del modelo de la red neuronal artificial con los resultados del modelo de regresión no lineal, en comparación con datos reales, obteniendo un 95 % de confiabilidad en modelos de redes neuronales, encontrando éste modelo más cercano a los datos reales para la predicción de consumo de energía eléctrica en edificios inteligentes. El modelo de predicción de demanda de energía eléctrica presentado en este trabajo será la base para diseñar un controlador de consumo de energía eléctrica basado en lógica difusa.

Agradecimientos

El autor desea agradecer al Dr. Marina Herrera Pantoja, Gerente de hidroclimatología en la Comisión Estatal de Aguas (CEA), Querétaro, México por su amable ayuda en la realización de este trabajo.

Referencias

[1] Omer A.M. “Energy, environment and sustainable development”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12 (9). 2008. pp 2265 - 2300.
[2] Söderholm P. “The political economy of international green certificate markets”. Energy Policy, 36 (6). 2008. pp 2051– 2062.
[3] Wojciech Grega, Piotr Bania. “Heating system control in commercial building with peak demand adjustment”. AGH University of science and technology. Elsevier. 2005. pp64- 70.
[4] SIE, 2009, Información estadística, balance de energía eléctrica, Secretaria de Energía México, http://sie.energia.gob.mx.
[5] Kalaitzakis K., Stavrakakis G., Anagnostakis E. “Short-term load forecasting based on artificial neural networks parallel implementation”. Electric Power System (63). 2002. Pp185-196.
[6] Wong, H. Li, S.W. Wang. “Intelligent building research: review, Automation in Construction”. (14). 2009. pp 143 – 159.
[7] Ruano A. E., E.M., Crispim, E.Z.E., Conceic¸a˜o b, M.M.J.R. Lucio. “Prediction of building’s temperature using neural networks models”. Elsevier (38). 2005. pp 682-695.

[8] Senabre Carolina, Sergio Valero, Antonio Gabaldón, Mario Ortiz y Manuel González. "Predicción de la Demanda Total de Energía Eléctrica Española Utilizando Mapas Auto-organizados como Modelo de Red Neuronal". Transaction on neural networks. 2004. pp 1-6.
[9] Lian Zhiwei, Liu Weiwei, Yao ye. "An innovate air-conditioning load forecasting model based don RBF neural network and combined residual error correction". ELSEVIER. 2007. pp 528-538.
[10] Ramazan B., Irmak E., Colak I., Bektas A."Development of real time energy monitoring platform". Electrical Power and Energy Systems (33). 2011. pp 137-146.
[11] White H. "Learning in artificial neural networks: A statistical perspective". Neural Computation (1). 2000. pp 425–464.
[12] Faraggi D., Simon R. "The maximum likelihood neural network as a statistical classification model". Journal of statistical Planning and Inference (46). 2005. pp93-104.
[13] Maier H., Dandy G. "Neural network based modeling of environmental variables: A systematic approach". Mathematical and Computer Modelling (33). 2001. Pp 669-682.
[14] Zhou, G. and Si, J. "Advanced neural network training algorithm with reduced complexity based on Jacobian deficiency". IEEE Trans. Neural Networks (9). 2007. pp 448-453.
[15] Lavine B., Blank T. "Feed-forward neural networks". Comprehensive Chemometrics (3). 2009. Pp 571-586.
[16] Marini F., Magri A., Bucci R. "Multilayer feed-forward artificial neural networks for class modeling". Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems (88). 2007. pp118-124.
[17] In-Bong B. "Multi-period forecasting using different models for different horizont: an application to U.S. economic time series data". International Journal Forecasting (19). 2003. Pp387-400.
[18] Kalogirou." Applications of artificial neural networks for energy systems". Applied Energy, (67). 2000. pp 17-35.
[19] Gonzalez P., Zamarreno J., "A short-term temperatura forecaster based on state space neural networks". Engineering Applications of Artificial Intelligence (15). 2002. pp 459-464.
[20] Betul B., Teoman A. "Prediction of building energy consumption by using artificial neural networks". Advances in Engineering software (40). 2009. Pp356-362.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 99. Volumen 4(5), 5 páginas.

SISTEMA PARA HALLAR LA SOLUCIÓN DE ECUACIONES DIFERENCIALES TOTALES EMPLEANDO TRANSFORMADAS DE LAPLACE

Miguel Olvera Aldana[1], Michel Marcos García Badillo[2]

Resumen

Este sistema nos permite resolver ecuaciones diferenciales ordinarias empleando como técnica de solución las Transformadas de Laplace, mostrando los pasos de solución más elementales, incluyendo además, funciones adicionales tales como calcular la derivada y la integral (por cambio de variable), asimismo también podemos determinar la Transformada de Laplace (directa e inversa) de diversas funciones.
Palabras clave: Ecuaciones Diferenciales, Prolog, Sistemas Basados en Conocimiento, Transformada de Laplace.

Summary

This system allows us to solve ordinary differential equations and solution technique using the Laplace transform, showing the most basic troubleshooting steps, including also additional functions such as calculating the derivative and integral (by changing the variable), we can also determine Laplace Transform (forward and reverse) of various functions.
Keywords: Differential Equations, Prolog, Knowledge-Based Systems, Laplace Transform

Introducción

Uno de los principales cuestionamientos que han surgido en la enseñanza a nivel superior, principalmente en aquellas instituciones que poseen carreras de ingeniería, es el porqué las matemáticas constituyen una limitante para el desarrollo curricular de cada estudiante; si bien es cierto en [1] se indica que "particularmente en la matemática, se escucha en el salón de clases exclamaciones por parte de ellos [los estudiantes] como las siguientes: ¿para qué nos va a servir esto que estamos estudiando? ¿en dónde lo vamos a usar? ¿por qué lo tenemos que estudiar?. Estas preguntas, en el mejor de los casos, son contestadas por el profesor que les dice que en los cursos posteriores de ingeniería que cursarán será cuando apliquen esos temas." De forma particular la asignatura de ecuaciones diferenciales, en la ESCOM, presenta un alto índice de reprobación, como consecuencia de lo anterior se tiene que el rezago estudiantil que se va generando por no acreditar asignaturas como la que se aborda en este trabajo, cada vez es mayor y entonces surge una problemática que consiste en buscar una alternativa que pueda ayudar a los estudiantes de la asignatura de ecuaciones diferenciales a resolver los problemas que se estudian en dicha asignatura.

De acuerdo a lo anterior se ha desarrollado este trabajo propuesto cuyo objetivo es generar un sistema computacional que encuentre la solución de ecuaciones diferenciales ordinarias utilizando Transformadas de Laplace.

Para establecer las bases teóricas que conforman este trabajo es necesario especificar algunos conceptos. En primer lugar una ecuación diferencial de acuerdo a [2] es "una ecuación en la que interviene una o más derivadas o diferenciales de las cuales es posible obtener una solución mediante un proceso de despeje e integración y así hallar una solución particular", por ejemplo

[1, 2] Escuela Superior de Cómputo (ESCOM) – Instituto Politécnico Nacional, Av. Juan de Dios Batiz s/n esq. Miguel Othón de Mendizabal. Unidad Profesional Adolfo López Mateos. Col. Lindavista. CP 07738, México D.F. Tel. 5729-6000
[1] Ext. 52028, E-mail alein34@hotmail.com, [2] Tel. 044-55-8576-9918. E-mail: mgarciab89@hotmail.com

$$\frac{d^2x}{dt^2}+16x=0 \tag{1}$$

donde: $\frac{d^2x}{dt}$ – Derivada de la variable x que expresa que la ecuación diferencial es de orden 2.

Para distinguir una ecuación diferencial, tomando como referencia a [3], existen diferentes notaciones como las siguientes:

- Notación de Leibniz: $\frac{dy}{dx},\frac{d^2y}{dx^2},\frac{d^3y}{dx^3},\frac{d^4y}{dx^4},\ldots,\frac{d^ny}{dx^n}$, muestra de manera clara tanto la variable dependiente como la independiente.
- Notación con el símbolo de prima: $y',y'',y''',y^{(4)},\ldots,y^{(n)}$, representa una forma compacta de escribir una ecuación diferencial.
- Notación de punto de Newton: Una ecuación diferencial como $\frac{d^2s}{dt^2}=-32$ se convierte en $\ddot{s}=-32$, esta notación es empleada "en ciencias físicas e ingeniería (a la que algunos se refieren en forma despectiva como notación de 'manchita') a veces se usa para denotar derivadas con respecto al tiempo t ".
- Notación de subíndice: Se usa para denotar derivadas parciales, ejemplo: $u_{xx}=u_{tt}-2u_t$

Ahora bien otro concepto que es necesario definir es el de Transformada de Laplace, cuya definición matemática es: "Sea una función definida para $t\geq 0$. Entonces se dice que la integral

$$\mathscr{L}\{f(t)\}=\int_0^\infty f(t)e^{-st}dt \tag{2}$$

es la transformada de Laplace de f , siempre que converja la integral".

De la ecuación (2), podemos visualizar algunos símbolos donde:

$\mathscr{L}\{f(t)\}$ – es el operador de la Transformada de Laplace para una función $f(t)$.

$\int_0^\infty$ – es la integral cuyos límites de integración están definidos desde el 0 hasta el ∞.

e^{-st} – es el núcleo o kernel de la Transformada de Laplace.

dt – diferencial del tiempo

El principal beneficio de utilizar las Transformadas de Laplace en la solución de ecuaciones diferenciales es que nos permite convertir una ecuación diferencial en una ecuación algebraica a través de la transformada directa, y al resolver dicha ecuación algebraica se aplica la transformada inversa y entonces obtendremos la solución a la ecuación diferencial sin embargo para efectos del sistema desarrollado es necesario que la ecuación diferencial a resolver se restringa a ciertas características:

- Ser una Ecuación Diferencial Ordinaria (EDO).
- Ser de segundo orden.
- Tener coeficientes constantes.
- Ser lineal.

Un tercer concepto que debe establecerse es el de un Sistema Basado en Conocimientos (antes llamado sistema experto) el cual en [4] nos dice que es "un programa que se comporta como un experto para algún dominio de aplicación, normalmente reducido. Debe ser capaz de explicar las decisiones que ha ido tomando y el razonamiento subyacente. Algunas veces es interesante que los sistemas expertos manejen incertidumbre y conocimiento incompleto." De manera más sencilla podemos entender por [5] que los sistemas basados en conocimientos "son máquinas que piensan y razonan como un experto lo haría en una cierta especialidad o campo".

Otro elemento importante para ser establece se nos da en [6] el cual especifica que el "Cálculo simbólico, cálculo formal, algebra computacional,… son distintos nombres para señalar una misma cosa. La mayor o menor difusión de cada una de estas denominaciones responde al origen de la misma (del inglés Computer Algebra o Symbolic Computation, del francés Calcul Fomel)". Según una definición clásica de R. Loos [7]:

El algebra computacional es aquella parte de las ciencias de la computación que diseña, analiza implementa y aplica algoritmos algebraicos.

Finalmente el concepto que hay que definir es el de Sistema Algebraico Computacional; de acuerdo con [8]: *Un sistema algebraico computacional o sistema de álgebra computacional SAC* (**CAS**, del inglés Computer Algebra System) *es un programa de ordenador o calculadora avanzada que facilita el cálculo simbólico.* La principal diferencia entre un CAS y una calculadora tradicional es la habilidad del primero para trabajar con ecuaciones y fórmulas simbólicamente, en lugar de numéricamente."

Metodología

Las tecnologías que se emplearon para desarrollar este sistema computacional son Java y SWI – Prolog, las cuales, para ser comunicadas se empleó una API de Java conocida como JPL, de esta forma toda la sección que corresponde a la solución de problemas matemáticos quedará especificado en SWI – Prolog y el desarrollo de la interfaz gráfica, así como los aspectos de graficación quedarán desarrollados en Java.

Por otro lado, el sistema desarrollado, tomando en cuenta que su comportamiento estará dado como un sistema basado en conocimientos, se constituye de 3 módulos que son especificados de la siguiente manera:

- *Base de conocimiento:* Contiene el conocimiento específico del dominio de la aplicación, es decir, un conjunto de hechos, un conjunto de reglas que definen relaciones en el dominio, y métodos heurísticos e ideas para resolver problemas en el dominio.
- *Motor de inferencia:* Contiene los programas necesarios para manejar el conocimiento de la base.
- *Interfaz con el usuario:* Permitirá una comunicación fácil y agradable entre el usuario y el sistema, proporcionando detalles del proceso de resolución del problema.

Ahora bien, la estructura que compone a cada módulo se conforma así:

En relación a la base de conocimientos constituye a las fórmulas básicas definidas en Prolog para los problemas matemáticos, en estas líneas de código no hay recursividad ni reglas adicionales, un ejemplo claro se muestra a continuación:

```
l(Y,Y):-Y = 'Y',!.
```

Por lo que respecta al motor de inferencias tenemos que ahí es donde se implementan reglas recursivas en Prolog para realizar los cálculos, tales como la que se muestra a continuación:

```
d(sin(FX),X,cos(FX)*DFX):-atomic(X),d(FX,X,DFX).
```

Finalmente, la interfaz de usuario se encuentra implementada en Java y representa la aplicación que permite resolver los problemas matemáticos respectivos, tal como se muestra en la Fig. 1.

La última sección, que corresponde a la interfaz de usuario, tiene que ver con el graficador de funciones el cual permite realizar las gráficas de las soluciones encontradas en el sistema sin importar la variable y con posibilidad de modificar la escala de la imagen, una muestra de ello se presenta en la Fig. 2.

Fig. 1. Funcionamiento del Sistema.

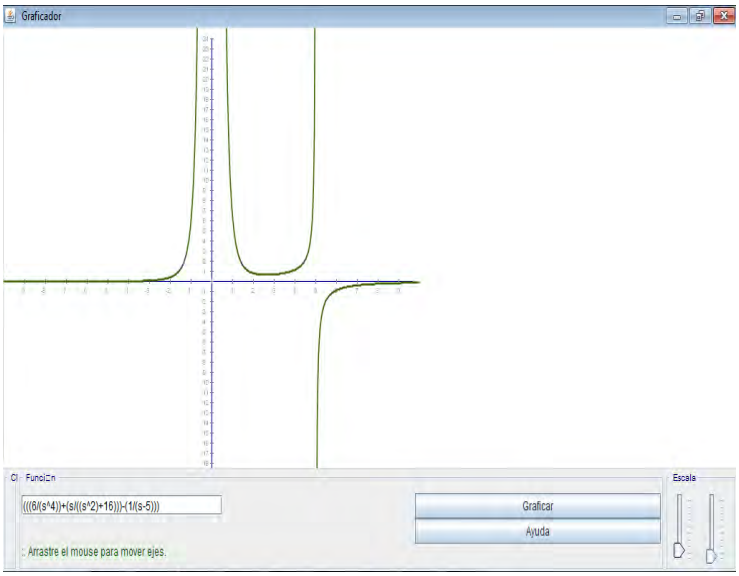


Fig. 2. Graficación de un Problema Matemático.

Resumiendo los módulos que se han descrito hace unos momentos, tenemos que el comportamiento del sistema está dado en la arquitectura mostrada en la Fig. 3.

Resultados

Nuestro sistema actualmente es capaz de:

- Calcular la derivada de cualquier función a través de las fórmulas de derivación existentes.
- Calcular la integral de algunas funciones mediante un proceso directo o bien a través de la técnica de integración por cambio de variable.
- Obtener la Transformada de Laplace de funciones definidas en el tiempo a través del uso de tablas de transformadas.
- Obtener la Transformada Inversa de Laplace de funciones definidas en el dominio “s” (dominio de Laplace).
- Mostrar algunos pasos elementales que mostrarán la solución de una ecuación diferencial determinada, para condiciones iniciales dadas, usando la técnica de Transformada de Laplace, dando al sistema un comportamiento de un sistema basado en conocimiento, cabe mencionar que solamente se muestra mediante el uso directo de la aplicación SWI - Prolog
- Mostrar en pantalla la gráfica de algunas funciones definidas en dos dimensiones.

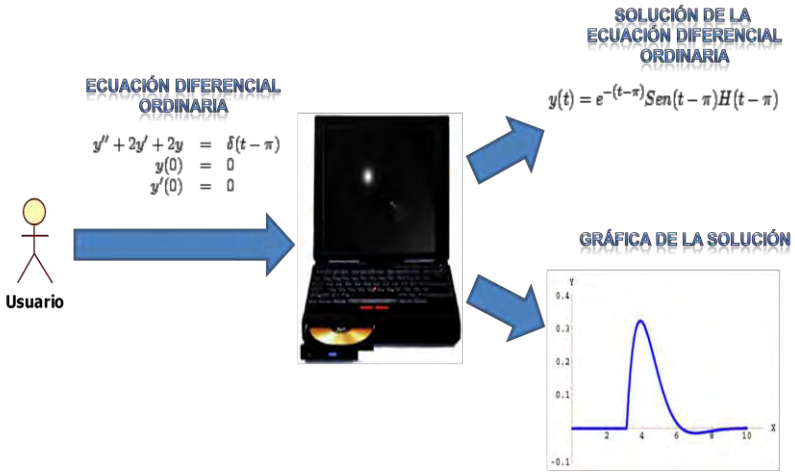


Fig. 3. Arquitectura del sistema.

Conclusiones

De acuerdo a lo presentado, podemos notar que este sistema aún tiene mucho trabajo por desarrollarse en él, de tal manera que pueda ir aumentando el grado de conocimiento manipulado, sin embargo, podemos concluir que este es un buen inicio para el desarrollo de otras aplicaciones que pueda apoyar a los estudiantes en el proceso de aprendizaje de las matemáticas.

Reconocimientos

Los Autores agradecen a la Escuela Superior de Cómputo perteneciente al Instituto Politécnico Nacional, por el apoyo recibido y las facilidades otorgadas para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Referencias

[1] Camarena Gallardo, Patricia. *"Metodología Curricular para las Ciencias Básicas en Ingeniería"*. Primera Parte. INNOVACIÓN®; EDUCATIVA vol.2 número 10. pp. 23 – 27. Septiembre – Octubre 2002.

[2] *"Ecuaciones Diferenciales"*. Notas de clase. Departamento de Formación Básica. Escuela Superior de Cómputo. Instituto Politécnico Nacional. Semestre 2008 – 2.

[3] Zill, Dennis G. *"Ecuaciones Diferenciales con Aplicaciones de Modelado"*. Cengage Learning. 8ª Edición. México. 2006.

[4] El Lenguaje de Programación PROLOG. [En línea]. Disponible en: http://mural.uv.es/mijuanlo/PracticasPROLOG.pdf

[5] Sistemas Expertos y Modelos de Redes Probabilísticas. Mayo 2010. [En línea]. Disponible en: http://personales.unican.es/gutierjm/papers/BookCGH.pdf

[6] Cálculo Simbólico, Cálculo Formal, Algebra Computacional: Qué es y para qué sirve. Octubre 2010 [En línea]. Disponible en: http://www.sinewton.org/numeros/numeros/43-44/Articulo96.pdf

[7] Buchberger, B.; Collins, G.; Loos, R. *"Computer Algebra"*. Computing Suplementum 4. Springer. Viena. 1982.

[8] Sistema de Algebra Computacional. Noviembre 2010. [En línea]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_%C3%A1lgebra_computacional

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 11. Volumen 4(6), 6 páginas.

DESARROLLO DE COMPETENCIAS EN ALUMNOS DE BACHILLERATO A TRAVÉS DE LA ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO (MÁQUINA AUTOMATIZADA)

Benjamín Rojas Eslava[1], Emilio Calixto González[2], Vicente Ruperto Velázquez[3]

Resumen

En el presente estudio se promueve el tercer peldaño de una competencia (aprendiendo a emprender) a través de la elaboración de un prototipo de automatización de máquina llenadora, con la finalidad de ser una propuesta que partirá del aprendizaje significativo hacia la formación integral de los al umnos de bachillerato, al combinar la teoría con la práctica en las diversas actividades. La estructura de este trabajo, se subdividirá en cuatro apartados, el primero, tendrá por objeto el describir, la fundamentación didáctico-pedagógica, en donde el paradigma de la educación tradicional da un vuelco significativo en donde el aprendizaje ya no será conductista, se transformará en constructivista, permitiendo con ello que los alumnos desarrollen un pensamiento crítico y creativo. El segundo apartado corresponderá a los objetivos y metas, tercer apartado corresponderá a los métodos y materiales utilizados, por último los resultados donde se contendrán todo aquello que se alcanzará.

Palabras clave: Aprendizaje significativo, aprendiendo a emprender, competencia, máquina automatizada, prototipo.

Summary

In this study promotes the third step of competition (learning to take) through the development of a prototype automated filling machine, in order to be a proposal that will leave significant learning towards an integral formation of students high school, combining theory with practice in the various activities. The structure of this work shall be divided into four sections, the first will aim to describe the educational and pedagogical foundation, where the paradigm of traditional education gives a significant shift in where learning is no longer conduct, transform in constructivist, thereby allowing students to develop critical and creative thinking. The second section corresponds to the objectives and goals, third paragraph correspond to the methods and materials used, and finally the results which contain all that is achieved.

Keywords: Meaningful Learning, Learning to Take, Competition, Automated Machine, the Prototype.

Introducción

A finales del siglo XX se presentaron cambios significativos en los sectores de la educación sobre todo en los países que conforman la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), estos cambios incluyen un creciente interés por la educación profesional para generar sociedades entre el sector educativo e industrial, a través del incremento en el número de prestadores de servicios educativos del sector privado, así como la generación de diferentes opciones para el estudiante recién egresado, generación de esquemas para facilitar la transferencia de un nivel educativo a otro, reorganización de estructuras educativas para crear mayor autonomía y responsabilidad para las instituciones educativas y el desarrollo de educación basada en competencias.

[1-2-3] Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No. 1 "Gonzalo Vázquez Vela" del Instituto Politécnico Nacional. Avenida 510, No. 1000 y Puerto de Palos S/N, Colonia Ejidos de Aragón. Tel. 5729-6000 Ext. 71522. E-mails: [1] brojase@ipn.mx, [2] ecalixto@ipn.mx, [3] vicenteruperto@hotmail.com

Con sustento en lo anterior y con recomendaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) el Instituto Politécnico Nacional inició un proceso de reforma con programas de estudio más flexibles con un contenido sólido de conocimientos básico para garantizar la actualización permanente, es decir, centrado en el aprendizaje, permitiendo a los individuos construyan sus conocimientos con el apoyo y guía del docente, que ellos mismos diseñen y definan sus propias trayectorias y ritmo de trabajo con miras a generar una formación integral y de alta calidad científica, tecnológica y humanística, para así combinar equilibradamente el desarrollo de conocimientos, actitudes, habilidades y valores. Todo lo anterior se encuentra actualmente en el Modelo Educativo del Instituto Politécnico Nacional. (IPN. 2004).

Motivo por el cual en la especialidad de Sistemas de Control Eléctrico del Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos Nº 1 Licenciado "Gonzalo Vázquez Vela", se promueve el desarrollo de competencias en los alumnos de cuarto semestre con la finalidad de que apliquen los conocimientos adquiridos durante los tres semestres previos y desarrollen poco a poco diferentes niveles de complejidad de acuerdo a sus intereses, formación y contexto social en donde se desenvuelve. (Bogoya, 2000, referido Tuning América Latina), con la finalidad de presentar un prototipo final, el cual además de desarrollar competencias le permitan titularse como técnicos en su especialidad. Subiendo los escalones de las competencias, es decir de los saberes: Aprender a saber, nivel cero: este es el primer escalón cuando una persona tiene conocimientos sueltos sobre un tema o un área, como datos aislados sin ninguna conexión a su estructura cognitiva, lo tiene en su memoria temporalmente.

Aprender a conocer, primer nivel: "reconocimiento y distinción de elementos, objetos o códigos propios de cada área o sistema de significación, en tanto campo disciplinar del saber". En otras palabras, es el primer eslabón cuando el estudiante va apropiando los conocimientos básicos por medio de la abstracción, simbolización y conceptualización, se dice que él sabe.

Aprender hacer, segundo nivel: una vez interiorizado el nuevo conocimiento, el alumno puede comunicarlo y utilizarlo, hacer uso comprensivo de los objetos o elementos de un sistema de significación. Es decir, el alumno debe aplicar los conocimientos adquiridos en su quehacer (práctica cotidiana, método de casos) o a través de ejemplos hipotéticos elaborados en equipo.

Aprender a emprender, tercer nivel: implica un mayor grado de apropiación porque el educando debe empezar a volar, para crear otras alternativas, para dar más argumentos, para poder responder en diferentes situaciones o contextos. Aquí debe analizar, sintetizar, inferir, asociar para particulizar los conceptos generales de un tema con explicaciones coherentes.

Aprender a ser, cuarto nivel: competencia que se aprende durante toda la vida. En la generación y desarrollo de esta competencia están comprometidos de igual forma progenitores y maestros de todos los niveles de formación. (Tunnig de America Latina 2003) Planteamiento del problema

¿Cómo generar en los alumnos de la especialidad de Sistemas de Control Eléctrico las competencias de diseñar y elaborar un prototipo para la automatización de una máquina llenadora de cinco unidades, así de cómo generar una microempresa?

Objetivo general: elaborar un prototipo para la automatización de una máquina llenadora para cinco unidades, con la finalidad de promover y desarrollar metacognición y competencias en los alumnos de cuarto semestre de la especialidad de Sistemas de Control Eléctrico, necesarias para titularse.

Hipótesis de trabajo: el prototipo para la automatización de una máquina llenadora para cinco unidades generará en los alumnos de la especialidad de Sistemas de Control Eléctrico, la metacognición y las competencias necesarias para titularse y prepararlos para el campo laboral actual a través de la generación de una microempresa.

Metodología

El diseño metodológico, como menciona Álvarez (2006), es una relación clara, concisa y coherente de técnicas y procedimientos lógicamente coordinados para dirigir el aprendizaje hacia determinados objetivos, a través de cómo aprenden los alumnos, enseñarlos a pensar, promover la autonomía y el trabajo colaborativo.

Materiales

Se utilizaron los siguientes materiales para la elaboración de la máquina automatizada:

Control electromagnético, el cual sirve para controlar eléctricamente los elementos de fuerza, es decir los motores eléctricos con diversos elementos y dispositivos de control como son: interruptores eléctricos que son dispositivos de corte eléctrico, botones pulsadores, dispositivos que se diferencian de los interruptores eléctricos porque estos cierran y abren circuitos eléctricos, entre estos dispositivos tenemos interruptores trifásicos de cuchillas con porta fusibles, que se emplean para proteger el circuito principal

tanto de fuerza como de control cuando por cualquier circunstancia de una mala operación o error humano ese interruptor protege todo el sistema, estos dispositivos están calibrados únicamente para el paso de una determinada corriente; existen muchos tipos de fusibles: de tapón, bayoneta, cartucho, cuchilla, etc., también se emplearon relevadores, que son dispositivos electromecánicos, capaz de comandar cargas pesadas a partir de una pequeña tensión aplicada a su bobina la cual genera un campo magnético que acciona el interruptor mecánico, este interruptor es el encargado de manejar la potencia en sí, quedando al circuito electrónico la labor de "mover" la bobina para así aislar mecánicamente la sección de potencia de la de control, también se utilizó el contactor es un aparato de maniobra automático, que se encargan de controlar una carga eléctrica, es decir contactores eléctricos, que van a permitir controlar el sistema de la operación a partir de una pequeña tensión aplicada a su bobina que genera un campo magnético en su núcleo permitiendo el accionamiento mecánico y al mismo tiempo abriendo o cerrando juegos de platinos que controlan la operación general de la automatización del sistema. Este relevador es el encargado de controlar el sistema de potencia en sí, dejando al circuito eléctrico la labor de activar la bobina para así aislar mecánicamente la sección de potencia de la de control, también se utilizó el contactor, es un dispositivo de maniobra electromecánica con poder de corte, y que por consiguiente puede cerrar o abrir circuitos con carga o en vació, control eléctrico-electrónico es un conjunto de circuitos que interactúan entre sí para obtener un resultado.

Con la guía de los docentes los alumnos elaboraron circuitos mediante componentes eléctricos y electrónicos, además utilizaron dispositivos analógicos como; capacitores, diodos, potenciómetros, resistencias, etc. Así como dispositivos digitales como compuertas lógicas y dispositivos de potencia como transformadores, triac, etc.

Otro punto primordial fué la utilización de sensores para detectar magnitúdes físicas y químicas para transformarlas en variables eléctricas, a través de los rangos de medida y precisión, gracias a la sensibilidad del sensor, a su resolución y su rapidez de respuesta. Es así como los docentes de la presente investigación realizaron lo siguiente con los alumnos para la elaboración del prototipo.

Cómo aprenden

El aprendizaje es el resultado de la práctica continua y permanente, además está influenciado por la actividad a realizar, las habilidades que posee quien aprende, el ambiente donde se realiza, el contexto social en donde se está realizando y las atribuciones causales de quien aprende.

La práctica y la forma en que la promueve y utiliza el docente son pieza clave para aprendizaje del alumno, si el docente utiliza la práctica como único que posee el conocimiento y el poder dentro y fuera del aula, lo único que generará en los alumnos atribuciones causales de éxito referidos a ellos mismos y a fracaso referido al docente.

Las atribuciones causales son las explicaciones que los alumnos se dan del por qué ellos o bien otros han tenido éxito o fracaso escolar y esto lo refieren a cuatro causas posibles: dificultad a la tarea, a la suerte, a su esfuerzo y a la habilidad que tienen para aprender. Así como lo refieren Rojas, Moreno y Vivanco (2001) quienes encontraron que los alumnos atribuyen su éxito escolar a su esfuerzo y a su habilidad para aprender, sin atribuir al docente. Por otro lado los alumnos con fracaso escolar atribuyen a la dificultad de la tarea y a su suerte, pero ambas referidas al docente que les impartió la asignatura quien no se interesa si aprendían o realizaban la práctica.

Lo anterior invitó a la formación y actualización de los docentes que realizaron el presente estudio, esto permitió buscar alternativas para promover un cambio en su quehacer y así se logró el interés de los alumnos, buscando una educación autónoma y el desarrollo del trabajo colaborativo. Es por tal motivo que los docentes de la presente investigación se están actualizando continuamente y están buscando estrategias motivacionales para sus alumnos con la finalidad de generar atribuciones de éxito referidos a ellos y al docente.

Enseñar a pensar

Otro de los aspectos de gran importancia que se está desarrollando en la especialidad de Sistemas de Control Eléctrico es que los docentes reorientaron la manera de enseñar, ya no es posible seguir transmitiendo el conocimiento de forma tradicional, ya que impide a los alumnos que descubran, construyan y reconstruyan el conocimiento, por tal motivo se promovió el enseñar a pensar a los estudiantes para así centrar el papel de mediador que tiene el docente en el proceso de aprendizaje, además de brindar una buena base motivacional y un clima de respeto. Por lo que los docentes se encuentran reforzando los siguientes aspectos:

Favorecer un clima de respeto y cordialidad en el aula, desarrollo de la escucha ante las opiniones de los demás, promover una actitud abierta a la crítica e interés en la explicación, actitud positiva hacia la

novedad e interés por ampliar las experiencias, disposición para modificar el criterio propio cuando las pruebas indican que éste debe modificarse, aceptar todas las sugerencias por pequeñas que sean.

Por lo tanto enseñar a pensar significa que: el conocimiento debe ser construido y no asimilado pasivamente, el estudiante debe ser orientado a explorar y experimentar los fenómenos de estudios y explicarlos con sus propias ideas, debido a que el proceso de adquisición del conocimiento es un hecho social en su origen, en su desarrollo y en su validación. (Rojas, Calixto y Ruperto. 2010)

Autonomía en el aprendizaje

Uno de los aspectos fundamentales del enseñar a emprender se refiere a que se debe promover un aprendizaje autónomo, es decir, que el alumno posea la competencia de aprender por sí mismo, primero con la guía del docente y luego sin ella, pero siempre con las actividades, motivaciones y tutorías planeadas por el docente, con la finalidad que aprenda a aprender en colaboración con sus compañeros. Para que aprenda a lo largo de la vida autogestionando su propio aprendizaje, para desarrollar en él, la prevención y solución de problemas, así como la toma de decisiones, gracias al desarrollo de la independencia de pensamiento y autonomía de acción.

Para desarrollar la autonomía del los alumnos no basta en que realicen la búsqueda de información, que la seleccionen, la lean y la analicen, es primordial la guía del docente quien deberá indicar clara, concisa y coherentemente las actividades que deberá llevar a cabo los alumnos en forma individual y grupal. Así mismo el integrar este nuevo conocimiento y relacionarlo con anteriores, para generar en los alumnos el hábito de la prevención y en caso extremo la solución de problemas. El docente no deberá de perder de vista que la tutoría y la motivación son piezas clave, que en todo el momento de las actividades deberán estar presentes. (Rojas, Calixto y Ruperto. 2010)

Para el logro de una mayor autonomía del estudiante, como lo menciona Álvarez (2006), es necesario tener en todo momento las siguientes actividades:

Entregar por escrito toda la información mínima necesaria para los alumnos trabajen como lo son: los programas, objetivo general, específico, resultados de aprendizaje propuestos (RAPs), instrucciones en cada uno de los métodos comprensivos a utilizar, así como de las actividades para alcanzar los RAPs, forma de evaluar, criterios códigos, etc.

Trabajo colaborativo

La autonomía se sinergiza con el trabajo colaborativo para fomentar el desarrollo integral de los alumnos, es importante mencionar que el solo hecho de trabajar en equipos no promueve la colaboración, ya que esta última incluye aspectos técnicos como la interdependencia la cual incluye la planificación hacia objetivos comunes, con funciones específicas de cada uno de sus integrantes y sobre todo que la coordinación o liderazgo recae en cada uno de sus integrantes y no en uno solo, así mismo se promueve las habilidades interpersonales con una comunicación lineal y directa, todo lo anterior envuelto en un clima de valores como el respeto y la tolerancia. Otro aspecto con el cual cuenta el trabajo colaborativo son los actitudinales como la interacción entre los miembros del equipo, confianza en cada uno de sus integrantes, ayuda mutua, evitando a toda costa la penalización del error, así como asumir la responsabilidad individual para alcanzar las responsabilidad como parte del equipo para alcanzar los objetivos planteados. (Rojas, Calixto y Ruperto. 2010)

Métodos comprensivos

Una vez que se comprende como aprenden los alumnos, así como de la importancia de promover el aprendizaje autónomo y del trabajo en equipos colaborativos, además de tomar en cuenta los criterios para una optima planeación, es necesario que los docentes en conjunto, y tomando en cuenta las características de los alumnos, decidan que método comprensivo deberán utilizar. Para esta investigación el método utilizado por los investigadores fue el Orientado a Proyectos mejor conocido dentro del Instituto Politécnico Nacional como "Proyecto Aula" (aprendizaje orientado a proyectos). (Rojas, Calixto y Ruperto. 2010)

Aprendizaje orientado a proyectos.

Este aprendizaje deriva de la escuela activa de Kilpatrick (1918) quien en su trabajo titulado "Desarrollo de Proyectos", nos habla de las prácticas innovadoras que conforman su escuela activa encaminada a una visión global del conocimiento utilizando todos los procesos cognitivos par llegar a la solución del proyecto.

Genera en el alumno responsabilidad para la búsqueda de la solución o de alternativas de innovación, utilizando sus conocimientos y habilidades adquiridos en el aula, sin perder de vista el rol que desempeña dentro de la sociedad en que se desenvuelve. Para que el alumno alcance este tipo de aprendizaje el alumno

requiere de; diseñar un plan metodológico, búsqueda, selección y análisis de información, comunicar y debatir ideas, hacer y depurar preguntas, realizar predicciones, generar conclusiones.

El utilizar proyectos reales permite a los alumnos realizar investigación en directo, trabajar en equipo colaborativo y heterogéneo, ya que involucra a su compañeros, docentes, personal de apoyo a la educación y a la sociedad en donde se desenvuelve, así generando habilidades metacognitivas, significado y relevancia en los alumnos involucrados.

Pasos a seguir por los alumnos para elaborar el prototipo del proyecto

Como se dijo anteriormente, los docentes promovieron la autonomía, el trabajo en equipos colaborativos, se les entregó la información clara y concisa sobre lo que se trabajaría, un calendario de actividades, asesorías y/o tutorías, así como de autoevaluación y evaluación.

La información que el docente recibió de los alumnos incluía entre otras cosa: rol de cada integrante del equipo; tema y bibliografía de tópicos actuales y que involucren a la sociedad en donde se desenvuelve y un plan de trabajo que incluyó entre otras cosas, objetivo y metas alcanzar, calendario de actividades, herramientas cognitivas y materiales, espacio, preguntas guía, actividades, posible producto a obtener.

Un aspecto de fundamental importancia y que no se perdió de vista fue la evaluación, para lo cual el alumno entregó los avances de su proyecto para así generar una evaluación basada en el desempeño de sí mismo de forma individual como en equipo, además los alumnos realizaron una presentación pública de sus avances para determinar su desempeño, además de la entrega de su portafolio de evidencias. También se tuvo en cuenta la evaluación de conocimientos a través de los exámenes, de la autoevaluación, y coevaluación.

Nivel de desarrollo psicológico de los alumnos

Otro de los aspectos que no se perdió de vista por los investigadores fue éste, ya que se considero la forma de aprender de cada alumno, esto es de acuerdo al tipo de inteligencia que tienen más desarrollada, como lo menciona Gardner [2]. Los tipos de inteligencias que menciona Gardner son las siguientes: corporal cinestésica, lingüística, musical, intrapersonal, interpersonal, lógico matemática, espacial, existencialista y n aturalista. Moreno, Rojas y Moreno [5] refieren que los docentes, incrementan el rendimiento académico de sus alumnos cuando comparten inteligencias múltiples de acuerdo con sus alumnos, lo cual lleva a una mejor relación alumno – docente ya que tienen en común intereses, habilidades y capacidades.

Para alcanzar esta empatía los docentes realizaron entrevistas con sus alumnos, además de aplicar un cuestionario para determinar que inteligencias tienen más desarrolladas, con lo cual se determinaron que estrategias, técnicas y actividades deberían utilizar.

Es importante mencionar que las inteligencias múltiples no son una realidad fija y estática, por tal motivo los docentes ayudaron a sus alumnos a fortalecer sus inteligencias a través de métodos, estrategias, técnicas y actividades dentro del aula y el taller.

Resultados y conclusiones

Este proyecto pedagógico integra la teoría con la practica en las diversas actividades, promueve la continuidad entre todos los niveles educativos, laborales y de convivencia, fomenta la construcción del aprendizaje autónomo como una propuesta que parte del aprendizaje significativo y se orienta a la formación humana integral como condición esencial del alumno para así desarrollar competencias.

Referencias

1. Álvarez de E, C. Y. y Villardón G. L. *Planificar desde competencias para promover el aprendizaje.* Cuadernos monográficos del Instituto de Ciencias de la Educación. Nº 12. España: Universidad de Deusto Bilbao, 2006.
2. Gardner. H. *Estructura de la mente. La teoría de las inteligencias múltiples*. México: Editorial Fondo de cultura económica, 5° reimpresión. México, 2005.
3. Instituto Politécnico Nacional. Un Nuevo Modelo Educativo para el IPN, libro 1 de la Reforma Educativa. México, 2004.
4. Kilpactrik W. (1918). Referido por: La integración del currículum - Resultado de la Búsqueda de libros de Google, James A Beane - 2005 - Education - 151 páginas. Ese mismo año (1918), William KILPATRICK publicó su famoso artículo "The Project Method". En él reivindicaba alejarse de la enseñanza coercitiva y el books.google.com.mx/books?isbn=8471124947. Revisada enero 2010.
5. Rojas E. B, Moreno I. A. y Vivanco C. E. Atribuciones causales de los alumnos de Educación Media Superior y su influencia en el rendimiento académico. Investigación registrada en la Secretaria de Posgrado e Investigación del Instituto Politécnico Nacional, con el número 200110029. México, (2001).
6. Rojas E. B, Moreno. I. A, Calixto G. E y Ruperto V.V. " Aprendiendo a emprender a través de la elaboración de un

prototipo de un brazo robótico". *Revista electrónica de Ciencia, Tecnología y Humanidades del Instituto Politécnico Nacional.* No. 1 (diciembre 2009): http://www.cidetec.ipn.mx/web%20rev/ejem1.html (acceso diciembre 5, 2009).
7. Tuning Educational Structures in Europe, Informe final Fase Uno, editado, González, Julián, Wagenaar, Robert. Universidad de Deusto, Universidad de Groningen, 2000.
8. Tuning, América Latina, Comité de Gestión: González, Julián, Wagenaar, Robert. Universidad de Deusto, Universidad de Groningen, Morones, Díaz Luís Director de Cooperación Internacional. Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES). 4.2 Las competencias en la educación superior. http://tuning.unideusto.org/tuningal/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1
9. UNESCO. Declaración mundial sobre la educación superior en el siglo XXI, visión y acción. París, UNESCO, 1998.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 26. Volumen 4(6), 7 páginas

ENANOS Y GIGANTES: SOFTWARE EDUCATIVO COMO APOYO AL DESARROLLO DEL PENSAMIENTO PROPORCIONAL DEL ESTUDIANTE DE PRIMARIA

Leonardo Daniel Vásquez López[1], Lorena Chavarría Báez[2], Elena Fabiola Ruiz Ledesma[3].

Resumen

El pensamiento proporcional es aquel que se obtiene cuando el sujeto puede establecer relaciones entre magnitudes. Está estrechamente ligado con los conceptos de razón y proporción que se abordan en los niveles educación básica en México. En este artículo presentamos una propuesta de Ambiente Virtual de Aprendizaje (AVA) que apoya el desarrollo del pensamiento proporcional en estudiantes de primaria a través de la impartición de modelos educativos formales.

Palabras clave: Arquitectura Cliente – Servidor, Ingeniería de Software, Programación Orientada a Objetos, Objetos de Aprendizaje, Software Educativo.

Summary

Proportional thinking is that you get when the subject can establish relations between magnitudes. It is closely linked with the concepts of ratio and proportion that are addressed in basic education levels in Mexico. This paper presents a proposal for a Virtual Learning Environment (AVA), which supports the development of proportional thinking in elementary students through the provision of formal educational models.

Keywords: Client-server Architecture, Software Engineering, Object Oriented Programming, Learning Objects, Educational Software

Introducción

En años recientes se han realizado importantes cambios en la forma de impartir la educación, especialmente en los aspectos: ¿Qué? y ¿Cómo? se imparte [1]. En el caso particular de México, la UNESCO ha declarado que la calidad de la educación básica que recibe la mayoría de los niños es baja; intervienen factores socioeconómicos y de aprendizaje, lo que ocasiona un alto índice de reprobación, en materias fundamentales como matemáticas. Esta situación es preocupante sobre todo si se considera que los tópicos que contempla el sexto grado de primaria en la materia de Matemáticas son muy importantes particularmente razón y proporción, mismo que ayuda al estudiante a desarrollar el pensamiento proporcional para aplicarlo ante situaciones problemáticas, así como estrategias visuales y métodos heurísticos que conducen a la resolución de los mismos [2].

Las estrategias empleadas en el proceso enseñanza - aprendizaje en educación básica, la mayoría de las veces se reducen a una sola, la expositiva, sin embargo, algunos maestros han buscado utilizar otras estrategias como: la resolución de problemas en clases, el trabajo con juegos para desarrollar la habilidad mental, etc., en general la forma de evaluar sigue siendo la tradicional. En años recientes, con ayuda de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) se ha desarrollado software educativo como una herramienta que tiene por objetivo fomentar el desarrollo del conocimiento del estudiante, además de ser material de apoyo educativo para el profesor.

Este tipo de software surge a partir de los problemas y deficiencias que existen en diferentes ámbitos de la educación e involucra dos grandes ciencias: Psicología y Computación, [3], además de una tercera dirigida al contexto del mismo.

[1] Av. Juan de Dios Bátiz s/n esquina Miguel Othón de Mendizabal. Unidad Profesional Adolfo López Mateos. Col. Lindavista C.P. 07738, México, D. F. Teléfono 57296000 ext. 52048, leo_daniel1205@yahoo.com.mx.
[2] Teléfono 57296000 ext. 52048, lorena_chavarria@yahoo.com.mx.
[3] Teléfono 57296000 ext. 52041, elen_fruiz@yahoo.com.mx.

Es así que surge la necesidad de implementar un software educativo basado en una arquitectura web, enfocado en el desarrollo del pensamiento proporcional del estudiante de primaria que contará con actividades que fueron trabajadas en las teorías formales [4]. Se utilizarán los conceptos de objeto de aprendizaje combinado con el estándar Sharable Content Object Reference Model (SCORM) para el desarrollo, tomando como base la arquitectura IEEE 1484: Learning Technology Systems Architecture (LTSA). Al término de la implementación se utilizará un prototipo para realizar pruebas en situaciones reales para evaluar el desempeño e impacto del mismo.

Pensamiento proporcional

En la vida diaria existen fenómenos que relacionan magnitudes del mismo o diferente tipo, por ejemplo, la cantidad de abejas macho y hembra en un panal nos da un indicador del género que predomina, la relación distancia – tiempo nos marca la velocidad a la que se viaja y el vínculo entre dinero y productos en el supermercado nos indica la cantidad de cosas que podemos comprar. Estos ejemplos tienen implícita la noción de proporción, que se define como la equivalencia de dos o más razones [5] y, a su vez, una razón es la comparación por cociente entre magnitudes.

El concepto de proporción aparece desde los niveles de educación básica y tiene repercusiones en niveles educativos avanzados en áreas como geometría, trigonometría, cálculo y aquellas relacionadas con las ciencias exactas como física, química, etc. [6]. Debido a esto es necesario que el estudiante lo asimile adecuadamente, es decir, tiene que desarrollar su *pensamiento proporcional* (aquel que se obtiene cuando el sujeto puede establecer relaciones entre magnitudes) [7].

El desarrollo del pensamiento proporcional se puede abordar desde dos perspectivas: la cualitativa y la cuantitativa [4]. La primera hace uso de adjetivos calificativos como: alto, bajo, pequeño, grande, etc. o palabras como *mayor que* o *menor que*, por ejemplo, una sandía es más grande que un melón [7]. La segunda hace referencia al manejo de cantidades mediante el uso de razones y proporciones para enfrentar problemas matemáticos, por ejemplo, velocidad lineal, semejanza de triángulos, porcentajes, números fraccionarios, etc. [7].

Existen personas que desarrollan de diferente forma el pensamiento proporcional [4], algunas de ellas desarrollan primero la parte cualitativa (pensamiento proporcional cualitativo) y posteriormente la parte cuantitativa (pensamiento proporcional cuantitativo) y algunas otras en sentido contrario. Lo ideal sería que se pudieran desarrollar ambos para que la transición entre ellos sea directa. Existen actividades que se han desarrollado para fortalecer el pensamiento proporcional en sus diferentes vertientes y el tránsito entre ellas, mismas que están en modelo de aprendizaje, que es un plan estructurado en donde se toman en cuenta los aspectos: ¿Qué? y ¿Cómo? enseñar los contenidos de aprendizaje, así como una evaluación de los mismos utilizando tanto el lenguaje técnico como el lenguaje cotidiano [8].

Para el caso particular del desarrollo del pensamiento proporcional, tenemos el *"Modelo de Blanca Nieves y los siete enanos"* [4]. Utilizando el cuento literario del mismo nombre, este modelo permite ser trabajado grupal e individualmente, con actividades de reducción y ampliación de figuras. Este modelo está estructurado para siete sesiones y considera actividades para el pensamiento proporcional cualitativo y cuantitativo.

Las primeras dos sesiones se apoya en la experiencia del dibujo a escala y de la fotocopiadora, en donde los estudiantes comparan la cama de Blanca Nieves con la de los enanos, posteriormente, en las dos siguientes sesiones se aborda la noción de ampliación (se emplea otro mobiliario de la casa de los enanos: la mesa), los estudiantes seleccionan la mesa que le corresponde a Blanca Nieves entre cuatro opciones. En estas cuatro sesiones se desarrollan conocimientos de carácter cualitativo. En las tres últimas sesiones se verifica la reducción y ampliación de las figuras con algún instrumento de medición para hacer las comparaciones de naturaleza cuantitativa, además se introduce una tabla como recurso para organizar datos.

Los resultados de estas actividades se muestran en la referencia [4]. Sin embargo, con el desarrollo de la tecnología, los estudiantes han adquirido nuevas habilidades y estas actividades tienen que satisfacer estas nuevas necesidades.

Tecnología en la educación

Hoy día el uso de las tecnologías está ampliamente extendido en nuestra vida diaria, todos podemos atestiguar las ventajas que nos ofrece, desde un cajero automático hasta un Smartphone.

Y, ¿qué hay con respecto al impacto de dichas tecnologías en la educación? en realidad hay tareas de la vida diaria que se involucran con la tecnología e impactan en la educación, podemos plantear las ventajas de escribir en un procesador de textos frente a un máquina de escribir mecánica o las ventajas de usar las hojas de cálculo para analizar y graficar los datos. Pero el cambio más significativo fue tener acceso a Internet, con ello la educación se ve favorecida para llegar a más personas, ya que no tienen que estar reunidas al mismo

tiempo en un aula de clases. El Internet también ha permitido, por un lado evolucionar las herramientas actuales para la educación, y por otro lado, la maduración de soluciones psicopedagógicas que pueden estar disponibles en Internet. Estas soluciones se conocen como: *"Ambientes Virtuales de Aprendizaje (AVA)"*, los cuales están diseñados para "*actuar como centro de actividades de los estudiantes, para su administración y facilitación, junto con la disposición de los recursos requeridos",* opcionalmente puede incluir un sistema que soporte la inscripción a los recursos, administración de los cursos, carpeta y perfil del estudiante, un sistema de mensajería y publicación del contenido [9].

Los *AVA* emplean el concepto de *objeto de aprendizaje (OA)* [10], que según la IEEE, es *cualquier entidad digital o no digital que puede ser usada, re-usada o referenciada para el aprendizaje apoyado en tecnología, y están basados en el paradigma de la programación orientada a objetos* [11], el cual se refiere a crear componentes o módulos que puedan ser reutilizables en otros programas. Un OA también se puede definir como un conjunto de temas que conforman un tópico [12], además son parte del estándar *Sharable Content Object Reference Mode*l (SCORM) [13].

En el caso particular de México existe software educativo que tiene por objetivo fortalecer tópicos que se imparten de acuerdo al nivel educativo. Por mencionar algunos tenemos Enciclomedia [14], una plataforma basada en libros de texto gratuitos para nivel primaria para alumnos de 5° y 6° grado desarrollado por la Secretaria de Educación Pública (SEP), una de las desventajas de esta plataforma es que solo se puede utilizar en el aula de clases y el profesor no tiene acceso para modificar el contenido del mismo. La Universidad Nacional Autónoma de México ha desarrollado software educativo y en la rama de las Matemáticas tenemos al Proyecto Universitario de Enseñanza de las Matemáticas Asistida por Computadora (PUEMAC) [15], una plataforma web que incorpora desde el nivel primaria hasta el nivel bachillerato y licenciatura, en el cual existen tópicos por cada nivel; tiene la desventaja de no tener interfaces adecuadas de acuerdo al nivel que se esté utilizando. Por último, mencionaremos a Moodle [16], que se puede considerar un Sistema de Gestión del Aprendizaje (Learning Management System, LMS) o también como Entorno de Aprendizaje Virtual (Virtual Learning Environment, VLE) con la capacidad de subir recursos de aprendizaje con cualquier tópico, usa el estándar SCORM para dichos recursos, sin embargo, a diferencia de otros no existe una validación sobre el material que se agrega al mismo.

Enanos y gigantes: Software educativo

Combinar educAción con tecnología es una buena opción para modernizar la forma en que se imparte la educación, sin embargo, su desarrollo representa un reto en varios aspectos, primero, se debe considerar la parte pedagógica, desarrollar actividades para la enseñanza y demostrar su utilidad; segundo, implementar esas actividades usando la tecnología disponible y, tercero, considerar aspectos psicológicos como el estilo de aprendizaje, colores, habilidades, etc. del grupo de estudio al que está dirigido. En esta sección vamos a describir nuestra propuesta de *AVA* que apoyará el desarrollo del pensamiento proporcional tanto cualitativo como cuantitativo y el tránsito de ambos en la que consideraremos los aspectos que describimos utilizando actividades de modelos educativos formales [4] además de considerar la opinión de los alumnos.

Arquitectura

Enanos y gigante está basado en la arquitectura Learning Technology System Architecture (LTSA), IEEE 1484 como lo muestra la Fig. 1, teniendo como ventajas los siguientes: proporciona de una estructura y una metodología de trabajo (Framework) para entender los sistemas existentes y futuros, promueve la identificación de interfaces críticas del sistema, así como la interacción de los mismos y por último, incorpora un horizonte técnico (aplicación) de por lo menos 5 a 10 años sin dejar de ser adaptable a las nuevas tecnologías y sistemas de aprendizaje.

Describiendo cada parte de la arquitectura tenemos

- *Entidad del estudiante (EE)*: representa una persona, un grupo de alumnos, un grupo de alumnos de aprendizaje en colaboración, en general un EE puede interactuar de diferente forma.
- *Tutor (T):* es el responsable de administrar los recursos de aprendizaje y a los EE, realiza 3 tareas:
- Negocia las preferencias de aprendizaje con EE (estilo de aprendizaje, estrategia, etc.), se elige ya sea por EE, por él mismo, o por una autoridad externa (padres de familia, institución, desarrollador de cursos).
- Recibe la información de la evaluación actual del proceso de Evaluación y Rendimiento de los Recursos de Aprendizaje para apoyar el proceso de toma de decisiones para la elección de futuras experiencias de aprendizaje.
- Solicita información a la Base de Datos del registro del estudiante, almacena información de EE y se retroalimenta.

***Fig. 1**. Arquitectura del sistema LTSA IEEE 1484.*

- *Registros del estudiante (RE):* Una base de datos donde se almacena la información sobre el rendimiento de EE, pueden proceder tanto del proceso de evaluación (por ejemplo, las calificaciones en las enseñanzas), así como información que proviene de T (por ejemplo, certificaciones).
- *Recursos de aprendizaje (RA):* Una base de datos que representa el "*conocimiento*" que se desea transmitir y los recursos basados en experiencias de aprendizaje, pueden ser representados como presentaciones, tutoriales, experimentos, clases, etc.
- *Envío:* recupera contenido de los recursos de aprendizaje y los transforma en una presentación multimedia.
- *Evaluación:* genera información sobre el rendimiento de EE que se almacena en el RE y envía la información de evaluación al T [17].

Dentro de esta arquitectura una parte importante es la base de datos de los recursos de aprendizaje, ya que mediante la información ahí contenida se pretende que los estudiantes desarrollen su conocimiento.

Recursos de aprendizaje

Los RA se realizarán en base al concepto de objeto de aprendizaje utilizando el estándar SCORM teniendo un cuestionario diagnóstico, introducción al tópico, actividades relacionados con el pensamiento proporcional tanto de forma cualitativa como cuantitativa y una evaluación final, esta última nos servirá para conocer el nivel que tiene sobre el tópico, de acuerdo con esto último, el tutor evaluará si el alumno retroalimenta su conocimiento.

Una de las ventajas que se tiene nuestro software, es estar basado en teorías formales [4] las cuales fueron trabajadas y verificadas teniendo éxito en la forma de impartir el tópico del pensamiento proporcional, mismas que se encuentran en el modelo de Blanca Nieves y los siete enanos, se pretende implementar como un recurso digital para apoyar al profesor a impartirlo. A continuación se van a describir los recursos de aprendizaje que vamos a considerar. Cabe mencionar que todas las actividades están plenamente documentadas en la referencia [4].

Cuestionario diagnóstico

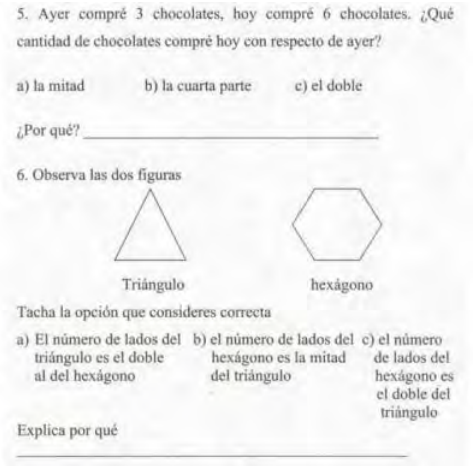
Para la parte del cuestionario diagnóstico se implementará un prototipo semejante a la Fig. 2, este cuestionario tiene la finalidad de evaluar el nivel de conocimiento sobre el pensamiento proporcional.

Introducción al tema

En la parte introductoria al tema se pretende dar conocimiento al estudiante de primaria sobre la importancia del conocimiento proporcional, así como el impacto que tiene al resolver problemáticas del tópico, además en este componente se define los tipos de conocimientos proporcional que se verán en el objeto de aprendizaje, pensamiento proporcional cualitativo y cuantitativo.

Actividades

En la tabla 2 se muestran las acciones didácticas que pretenden fortalecer el desarrollo del pensamiento proporcional cualitativo y cuantitativo y que se implementarán como actividades del objeto de aprendizaje, como una muestra la Fig. 3.


5. Ayer compré 3 chocolates, hoy compré 6 chocolates. ¿Qué cantidad de chocolates compré hoy con respecto de ayer?

a) la mitad b) la cuarta parte c) el doble

¿Por qué? _____

6. Observa las dos figuras

Triángulo hexágono

Tacha la opción que consideres correcta

a) El número de lados del triángulo es el doble al del hexágono

b) el número de lados del hexágono es la mitad del triángulo

c) el número de lados del hexágono es el doble del triángulo

Explica por qué

_____

Fig 2. *Cuestionario diagnóstico. Fuente. Ruiz, 2002.*

Tabla 2. Actividades para el desarrollo del pensamiento proporcional*

Conceptos	**Propósitos**	**Indicadores**	**Acciones didácticas**	**Acciones computacionales**
Razón como relación entre dos magnitudes a través de un cociente y Proporción como equivalencia de dos o más razones	Establecer razones y proporciones de forma intuitiva	♦ Comparar directamente (Freudenthal)	♦ Sobreponer figuras	Arrastrar figuras
	Establecer de manera inicial razones y proporciones explícitas	♦Comparar indirectamente (Freudenthal) ♦ Expresar la razón como una fracción (Freudenthal) ♦ Expresar la proporción como equivalencia de dos fracciones ♦Usar razones internas y externas (Freudenthal)	♦ Usar un instrumento de medición ♦ Usar una tabla relacionando datos y escribir la razón como una fracción ♦ Usar una tabla relacionando datos de una misma columna ♦ Usar una tabla relacionando datos de dos columnas	Usar regla virtual, llenar tabla
Pensamiento Proporcional	Desarrollar de forma inicial el pensamiento proporcional cualitativo	♦ Amplificar y reducir (Piaget) ♦ Usar expresiones lingüísticas (Piaget)	♦ Seleccionar figuras reducidas o amplificadas mediante la visualización ♦ Utilizar categorías verbales como "más grande qué o más pequeño qué"	Acceder a figuras
	Desarrollar de forma inicial el tránsito del pensamiento proporcional cualitativo al cuantitativo y viceversa	♦ Amplificar y reducir figuras (Piaget) ♦ Comparar (Piaget e Inhelder) ♦ Contar (Piaget) Expresar razones de forma intuitiva (freudenthal.)	♦ Dibujar figuras amplificadas y reducidas en una cuadrícula ♦ Sobreponer figuras ♦ Contar lados de cuadrados en una cuadrícula	Usar un lápiz virtual
	Desarrollar de forma inicial el pensamiento proporcional cuantitativo	♦ Medir con instrumentos (Piaget e Inhelder) ♦ Expresar la razón como una fracción (Freudenthal) ♦ Expresar la proporción como equivalencia de dos fracciones ♦ Usar la regla de tres o el tercero excluido (Ruiz)	♦ Medir con un instrumento convencional ♦ Llenar una tabla con datos para establecer proporciones ♦ Realizar operaciones numéricas	Usar cuadrícula

*Fuente: Ruiz, 2010.

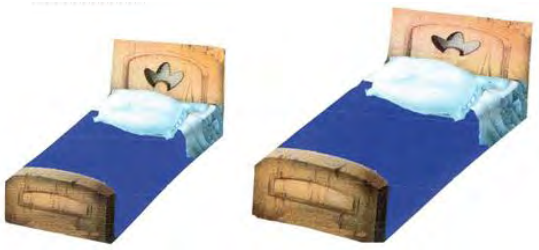


Fig. 3. *Ejemplo de actividad hecha a lápiz y papel. Fuente: Ruiz, 2002.*

Evaluación

Al término del objeto de aprendizaje el estudiante se le aplicará una evaluación como lo muestra la Fig. 4, con base a los tópicos vistos, esto con la finalidad de conocer el nivel de conocimiento adquirido durante este curso, además de una evaluación del software en donde se tomarán en cuentes aspectos como: aceptación del mismo, colores, diseño, etc.

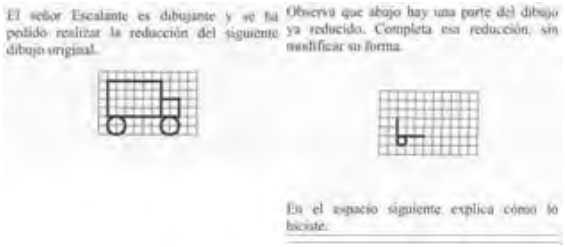


Fig. 4. *Reactivo de la evaluación. Fuente. Ruiz, 2002*

Tecnología

Tomando en cuenta los componentes de la arquitectura se propone trabajar bajo una arquitectura Cliente – Servidor, en donde el cliente envía una solicitud para tener acceso al recurso y el servidor atiende para brindarle el servicio como lo muestra la Fig. 5. Realizando una analogía con nuestra arquitectura para el software se tiene que la parte del cliente tendría como entidades EE y T, para la parte del servidor tendríamos tanto RA como RE, así como Evaluación, los reactivos que lo conforman. Para la parte de comunicación de petición de los recursos en general y respuesta se contemplaría Envío, para mostrarlos del lado del cliente como una presentación multimedia.

Una de las ventajas que ofrece esta arquitectura es la portabilidad, ya que por los recursos que se alojan en el Servidor y el Cliente tiene ser acceso vía web desde cualquier computadora (teniendo una conexión de internet) [18].

En cuanto al uso de la tecnología para desarrollar el software se pretende utilizar la Plataforma de Java Enterprise Edition mejor conocida como Java EE, proporciona una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API), entorno de ejecución para el desarrollo y ejecución a gran escala, las aplicaciones de red de varios niveles, escalable, confiable y seguro la cual se adapta perfectamente a la Arquitectura Cliente – Servidor [19].

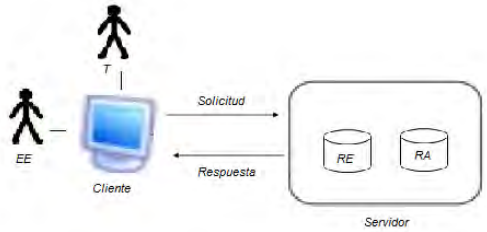


Fig. 5. *Modelo simple de interacción Cliente – Servidor / Analogía con la arquitectura del software*

Debido a la naturaleza del proyecto se necesita una constante retroalimentación entre el cliente (estudiante o EE) y el equipo de desarrollo, una comunicación entre todos los participantes del proyecto, simplicidad en las soluciones implementadas, así como una actitud fuerte ante cambios en los requisitos imprecisos y muy cambiantes, además se tiene que poner una importante atención en el diseño de interfaces de usuario, ya que se tiene que llamar la atención de los niños para que muestren interés en él. Por ello se ha optado por la

metodología ágil llamada Programación Extrema (Extreme Programming XP) [20][21], ya que se adapta a las necesidades de programación para el software educativo. En base a la definición existen roles para cada integrante del equipo de desarrollo y el cliente, adaptándolo a nuestras necesidades. El ciclo de desarrollo previsto para el desarrollo del software será el siguiente:

1. El cliente delimita el contexto del software a implementar
2. El programador estima el esfuerzo necesario para la implementación
3. El cliente selecciona qué temas llevara el contexto del software, de acuerdo a prioridades y restricciones de tiempo.
4. El programador implementa el contexto en el software
5. Se vuelve al paso 1

Conclusión

A diferencia de otros trabajos nuestra propuesta está basada en modelos educativos formales y considera el tipo de usuario al que está dirigido, un aspecto que se descuida en el desarrollo de estos sistemas. También pretendemos evaluar el software ante situaciones reales en colaboración con escuela primarias del Distrito Federal, e ir mejorándolo para obtener una herramienta que contribuya en el apoyo del desarrollo del pensamiento proporcional del estudiante de primaria, de acuerdo a expertos en la materia. Actualmente este prototipo se encuentra en desarrollo; en la primera fase se están analizando las preferencias de los niños en cuanto a interfaces gráficas, en base a los resultados de la aplicación de un cuestionario diseñado para tal fin, lo cual nos ayuda a desarrollar los recursos de aprendizaje lo más adecuado posible para el nivel al que va dirigido.

Referencias

[1] Toral S., et al. "Implementation of a Web-Based Educational Tool for Digital Signal Processing Teaching Using the Technological Acceptance Model". *IEEE Transactions on education*, Vol. 48 (4), Noviembre 2005, pp. 632-641.

[2] UNESCO, "The state of Education in Latin American and the Caribbean". *Office for Education in Latin American and the Caribbean. Regional Information System (SIRI) 1980-1994.* 1997, Santiago de Chile, pp. 9 - 430.

[3] Cuevas C., Depto de Matemática Educativa Cinvestav – IPN, 2011. http://www.matedu.cinvestav.mx/~ccuevas/

[4] Ruiz E. F "Estudio de estrategias de solución y una propuesta de Enseñanza de razón y proporción". Tesis Doctoral. Cinvestav-IPN. México., 2002.

[5] Hart, K. Ratio and proportion. En: J. Hiebert y M. Behr (Eds.). Concepts and operations in the Middle Grades, 2. Reston, Virginia: National Council of Teachers of Mathematics. 198-219

[6] Camarena P., Ruiz E., "Desarrollo del pensamiento proporcional cualitativo con tecnología", *XIII Conferencia Interamericana de educación matemática.* Junio, 2011, Recife Brasil.

[7] Piaget J., Inhelder B., *Psicología del niño*, Decimoséptima edición, 2007, Editorial Morata, Madrid, 159 páginas.

[8] Ruiz E., Valdemoros M. "Vínculo entre el pensamiento proporcional cualitativo y cuantitativo: el caso de Paulina". *Relime* Vol. 9 (2), Julio 2006, pp. 299-324.

[9] Miranda G. "De los ambientes virtuales de aprendizaje a las comunidades de aprendizaje en línea". *Revista Digital Universitaria,* Vol. 5 (10), Noviembre 2004, pp. 1-14.

[10] Petratonakis P., et al., "SEE and SEE: An Educational Tool for Kids with Hard of Hearing". *Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, 2008, pp. 1032-1033.

[11] Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011, *http://www.ieee.org/*.

[12] Hashim U. R., et al. "Development of Leaming Object for Engineering Courses in UTeM", *Interational Conference on Engineering Education, Kuala Lumpur, Malaysia*, 2009, pp. 191-195.

[13] *"Sharable Content Object Reference Model",* SCORM, *http://www.scorm.com.*

[14] Enciclomedia, Secretaria de Educación Pública, 2011, *http://www.enciclomedia.edu.mx/.*

[15] Proyecto Universitario de Enseñanza de las Matemáticas Asistida por Computadora, PUEMAC, 2010, *http://interactiva.matem.unam.mx/.*

[16] Moodle, 2011, *http://moodle.org/*

[17] Learning Technology System Architecture (LTSA), IEEE 1484, 2011, *http://ieeeltsc.org*

[18] Martín M. "Aplicaciones de las bases de datos cliente servidor". Tesis Doctoral. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación., 2004

[19] Java Enterprise Edition, 2011, *http://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/index.html*

[20] Canós J. H., "Metodologías ágiles para el desarrollo del software", *Universidad Politécnica de Valencia*, 2006, pp. 2-5.

[21] Beck, K., *Una explicación de la Programación extrema. Aceptar el cambio*, Primera edición, 2002, Addison Wesley. España, 216 páginas.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 29. Volumen 4(6), 6 páginas.

COMO PODER APLICAR LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN (TIC´S) EN LAS CARRERAS DE INGENIERÍA

R. Cortez Olivera[1], R. Sánchez Martínez[2,] G. I. Arjona Ramírez[3]

Resumen

En la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco (E.S.I.M.E. U. A.), desde hace varios años se han implementado en las asignaturas de las carreras de Ingeniería que se imparte en esta, las tecnologías de la información y comunicación (TIC´s). Todas estas han sido muy importantes y apoyan en gran medida a profesores y alumnos en la transmisión y asimilación del conocimiento cuando son bien empleadas, pero en una encuesta realizada en esta escuela se encontró que en un 50% de los casos en los cuales se utilizan estas, no solo han apoyado a la transmisión del conocimiento, sino que su inadecuado empleo a originado que los profesores ya no traten de prepararse más, afectando a los alumnos y disminuyendo el índice de aprobación. Ante esta situación en la E.S.I.M.E. U. A. se realizó un estudio de esta problemática, tomando en consideración a los alumnos y a los profesores, del cual se concluyó que el principal problema es que los profesores no transmiten adecuadamente los conocimientos necesarios bajo el enfoque de las TIC´s como herramienta de apoyo. Por lo anterior se realiza una propuesta para mejorar el empleo de las TIC´s, la cual se está aplicando en ESIME U.A. en las asignaturas de amplia importancia en las carreras que se imparten, lográndose un incremento de un 15%. En el aprovechamiento escolar.

Palabras Clave: Educación Superior, Ingeniería Mecánica, Ingeniería en Robótica Industrial, Ingeniería en Sistemas Automotrices, Problemática de las TIC`s.

Abstract

In the School of Mechanical and Electrical Engineering Unity Azcapotzalco (E.S.I.M.E. U.A.), several years have been implemented gradually in the courses of the careers of Engineering which is taught in this, the technologies of information and communication technologies (ICTs). All these have been very important and largely supported by teachers and students in knowledge transfer when properly used, but a survey conducted at the school found that 50% of cases in which use these, not only have not supported the transmission of knowledge, but their misuse to rise that teachers no longer try to prepare more and decreasing the adoption index. Given this situation E.S.I.M.E. U. A. a study of this, taking into consideration the students and teachers, which concluded that the main problem is that teachers do not adequately convey the knowledge required under the focus of ICT as a support tool for based on these students to apply appropriate ICT as aids in the attraction of knowledge, which is used in the manner they consider appropriate, which in most cases is not the best. Therefore a proposal is made to improve this and is being implemented in E.S.I.M.E. U.A. in the subjects of wide importance in the races are held, resulting in an increase of 15% achievement.

Keywordw: ICT, Problematic, Higher Education, Mechanical Engineering, Industrial Robotics, Automotive Systems Engineering.

[1-2-3] IPN-ESIME Unidad Azcapotzalco. E-mails: [1] rcortez@ipn.mx, [2] ing.ricardo.sanchez@hotmail.com, [3] garjona@ipn.mx

Introducción

La Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional surge primeramente en 1867 como Escuela Nacional de Artes y Oficios (ENAO); en 1916 la Escuela de Nacional de Artes y Oficios se transforma en la Escuela Práctica de Ingenieros Mecánicos (EPIME); en 1921 se modifica su nombre por el de (EIME); en 1932 la EIME se convierte en Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME); en 1935 se integra al Instituto Politécnico Nacional. La Unidad Azcapotzalco de la E.S.I.M.E. se establece en de 1987, y se imparten las Carreras de Ingeniería Mecánica, Ingeniería en Robótica Industrial e Ingeniería en Sistemas Automotrices, contando actualmente con una población estudiantil de aproximadamente 3500 alumnos.

Uno de los grandes problemas existentes en la educación pública en México es la gran cantidad de alumno que en las últimas décadas han accedido a la educación superior ya que cifras de INEGI (1), indican que en el ciclo escolar 1980/1981 se contaban con 811,281 alumnos inscritos en alguna carrera de educación superior, mientras que en 2007/2008 ya se contaban con 2, 317,001 tendiendo a incrementarse el bono demográfico en este sentido.

Ante este gran incremento de alumnos que requieren ser atendidos se han implementado una serie de medidas entre las que figuran la educación en línea y la aplicación de las tecnologías de la información y comunicación (TIC`s), las cuales en algunos casos han permitido atender a una mayor cantidad de estudiantes pero en otros ante su inadecuado empleo en la educación superior y en especial en el área de ingeniería y ciencias físico-matemáticas solo ha servido para que los alumnos mecanicen la forma de resolver problemas de ingeniería, sin obtener el conocimiento necesario para poder analizar, aplicar y verificar que lo planteado es verídico. Esto se debe a que una gran cantidad de profesores mal interpretan la función de las TIC`s , considerando que estas son el centro sobre el cual debe de girar la transmisión del conocimiento y no un apoyo para esto.

En la ESIME esto se acentúa en las asignaturas que se consideran la columna vertebral de cada una de las carreras de ingeniería que se imparten en la misma y que contemplan el amplio uso de las matemáticas y la física, así como un amplio criterio y poder de análisis por parte de los alumnos ya que requieren conocimientos los cuales deben de tener una gran base teórica, pero en algunos casos los alumnos no son apoyados por los profesores que los acompañan en la obtención de estos conocimientos. Ya que estos profesores consideran que el alumno se deben manejar bajo la condición de aprender–aprender, y que en esta era de la información se debe obtener los conocimientos mediante las TIC´s, olvidando su papel fundamental de apoyar al alumno cuando lo requiera y pasando al rol de observador en este proceso, asi mismo que las TIC´s por sí mismas no son garantía de cambio, son retos que se afrontan con el programa, por lo que el profesor debe de estar preparado y actualizado con las nuevas tecnologías.

Al respecto, Amalia Ortega [2] establece que la nueva *Era de la Información* obliga a la educación a cambiar desde sus bases para conseguir en los estudiantes una formación integral y como parte de ella, la habilidad de "aprender a aprender, a hacer, a vivir y a convivir". Más sin embargo, conviene recordar que las TIC`s son ante todo y sobre todo, herramientas y como tales deben alinearse a las estrategias, contenidos y necesidades de la educación y utilizarse para capitalizar el universo de potencialidades que presentan las nuevas tecnologías.

Por otra parte Jimmy Rosario [3] establece que el papel del profesor universitario es fundamental dado que: *Cuanto más se inculque en los universitarios la posibilidad de utilizar las nuevas tecnologías, más amplio será el mundo que obra para ellos y las oportunidades que tengan de encontrar trabajo*.

Mientras que Héctor S. Barrón [4)] comenta que, resulta notable mencionar que cuando se implementaron las primeras estrategias para desarrollar programas de educación en Línea dentro de las instituciones educativas, los obstáculos iniciales eran presentados por los mismos docentes. Por lo que en Suecia el gobierno tuvo necesidad de estructurar un programa, In-Service IT, para recordarles a los docentes el sentido original de lo que es un proceso de aprendizaje, además de habilitarlos para el uso de tecnologías de Internet en sus programas escolares.

Lo anteriormente expuesto lleva a establecer que la implementación de las TIC´s, debe ser muy bien planeado, dado que una gran cantidad de docentes malinterpretan estas, al desconocer la forma de implementar las mismas y manejan en las asignaturas que imparten que los alumnos deben investigar los temas que marca el programa de la asignatura mediante la consulta de bibliografía, escrita, páginas de internet, así como que realicen una presentación del tema, mediante computadora y cañón, sin realizar una introducción al tema y establecer la teoría básica del mismo. Ante lo cual los alumnos realizan su mejor esfuerzo y buscan la información pero en la mayoría de los casos se olvidan de la información escrita y toda la información que utilizan en su presentación proviene de internet, la cual en una gran cantidad de ocasiones es inadecuada o en el mejor de los casos está incompleta, ya que no tienen idea de lo que buscan y cuál es la información básica que deben de contemplar.

Cuando realizan su presentación los alumnos, los profesores en el mejor de los casos medio explican el tema sin abundar en las bases teóricas y las condiciones especiales que pudiera contemplar el mismo. Por lo que los alumnos se quedan con esta deficiencia, la información se obtuvo de una encuesta realizada a los alumnos. Esto se acentúa cuando los mismo profesores le solicitan al alumno que utilicen algún programa de computadora a la solución de un problema especifico que le permita realizar más fácilmente el análisis, enseñándoles a utilizar dicho programa mediante algunos ejemplos ya establecidos, observando el alumno que la solución de estos problemas es mucho más fácil utilizando dichos programas y dando por hecho que los resultados que obtienen con los mismos siempre son correctos, por lo que el alumno no verifica mediante otros medios si son ciertos estos resultados.

Román Martínez [5] establece que los nuevos ambientes de aprendizaje basados en TIC ofrecen una forma diferente de organizar la enseñanza y el aprendizaje presencial, creando una situación educativa centrada en el alumno, que fomenta su propio aprendizaje y desarrolla un pensamiento crítico y creativo, condición que en muchas ocasiones no se cumple.

Por lo anteriormente expuesto en este trabajo, se analizan y establecen algunos parámetros que al utilizarlos adecuadamente podrían mejorar los resultados al emplear de las TIC´s en la enseñanza de la Ingeniería, incrementado la eficiencia de los procesos educativos.

Análisis

En la ESIME U. A. ante el problema existente referente al bajo porcentaje de alumnos que aprobaban en las asignaturas que se consideran de enorme importancia en las carreras que se imparten en ella, se procedió a realizar un seguimiento en las principales asignaturas. Por lo que se tomaron como referencia para este estudio la asignatura de Mecánica de Materiales y Termodinámica, las cuales se imparten en los semestres intermedios de las carreras y su índice de aprobación está por debajo del 45%, ante lo cual se requiere incrementar este.

Para esto se realizó una encuesta con la cual se buscaba conocer, qué porcentaje de los profesores que impartían estas asignaturas utilizaban en sus clase las TIC´s en forma continua, obteniéndose como resultado que solo el 40% las aplicaba.

Con estos datos se procedió a seleccionar a 8 grupos de las asignaturas que tenían un alto índice de reprobación, estas fueron Mecánica de Materiales II con 4 grupos, la cual que se imparte en el 5º.semetre de la carrera de Ingeniería Mecánica y Termodinámica II con 4 grupos, la cual también se imparte en el 5º semestre de la Carrera de Ingeniería Mecánica, teniendo estos grupos un promedio de 35 alumnos y contando con igual número de diferentes profesores, los cuales utilizaban ampliamente las TIC´s .

Al inicio del semestre a los alumnos de estos grupos se les aplicó una encuesta en la cual se les preguntaba en que porcentaje conocían y aplicaban las TIC´s, obteniéndose los resultados mostrados en la Fig. 1.

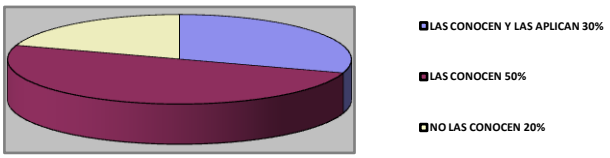


Fig. 1. Muestra de 120 alumnos encuestados sobre su conocimiento y aplicación de la TIC´s en sus estudios.

Con estos datos se estableció como Hipótesis que: *Los alumnos en un gran porcentaje no tienen conocimiento de la aplicación de las TIC´s en ingeniería y los requerimientos para utilizarlas, por lo que es necesario que los profesores antes de aplicarlas, les den a los alumnos todos los antecedentes teóricos de los temas a tratar, definan que se persigue al utilizar las TIC´s, que en la presentación de tema a desarrollar, establezcan los problemas tipo a analizar y le den seguimiento a estos puntos.*
Cumpliendo lo anterior al final del curso se deberá de tener un incremento del número de alumnos aprobados en estas asignaturas.

Para esto lo primero que se realizó fue platicar con los profesores que tendrían a su cargo a estos grupos, observándose que en su mayoría manejaba de forma adecuada las TIC´s, se definieron reglas generales a seguir en el trabajo a realizar y se estableció un coordinador encargado de monitorear los trabajos.

Posteriormente se realizó una plática con los alumnos de cada uno de los grupos, en la cual se les explico lo que son las TIC´s, su aplicación y las ventajas que podrían obtener al utilizarlas en su vida estudiantil y

profesional. Esto se realizó con un solo expositor para que la información que manejaran fuera la misma y no se iniciara el estudio con sesgos.

Al iniciar el semestre se observó que la mayoría de los profesores en las primeras clases formaban equipos de trabajo, entre los cuales repartieron los temas a tratar en el curso y programaron las presentaciones de los mismos. Indicándoles a los alumnos que deberían de investigar el tema a desarrollar, apoyándose en los medios a su alcance como podrían ser las bibliotecas, el internet o algún otro medio que ellos conocieran. Algunos también establecieron que antes de tratar un tema, ellos darían una introducción al mismo y los conceptos básicos y en cualquier momento los alumnos podrían preguntar sobre lo que no entendieran.

A la mitad del curso se aplicó una encuesta a una muestra de 120 alumnos, en la cual se les preguntaba de que manera estaban aplicando las TIC´s y que problemáticas habían encontrado para esto. Siendo los principales problemas que se muestran gráficamente en la Fig. 2.

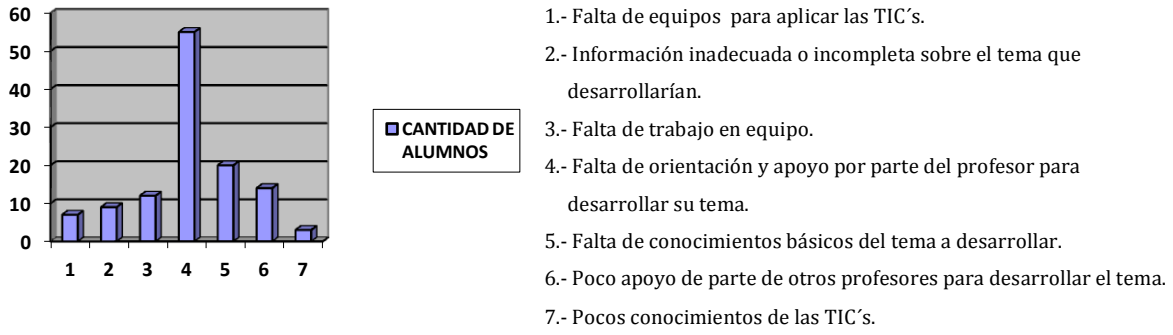


Fig. 2. Principales problemas que se les presentaron a los alumnos para aplicar las TIC´s en su trabajo.

Al profundizar sobre el principal problema que se tenía el cual consistía en la falta de orientación y apoyo por parte de los profesores hacia los alumnos, se observó que en 60% de los profesores aplicaban de forma adecuada las TIC´s, explicándole a los alumnos las bases teóricas que deberían de usar en el desarrollo de su tema antes de empezar a trabajarlo, la forma de establecer y tratar los ejemplos de los problemas que presentarían en su exposición, así como que TIC´s podrían utilizar para conseguir la información necesaria y exponer su tema de mejor manera, dando seguimiento al trabajo de los alumnos hasta que lo exponían.

Pero el otro 40% de los profesores sólo distribuyó los temas, realizando algunos comentarios sobre los mismos. Indicándole a los alumnos que ellos tenían que desarrollar todo el tema, por lo que cuando los alumnos solicitaban su apoyo para conocer las bases teóricas o alguna orientación de cómo conseguir información, como presentar los ejemplos sobre el tema o los resultados, les comentaban que ellos tenían que construir su conocimiento y que el día de la presentación de su tema seria evaluado su trabajo, por lo que la exposición de su tema casi siempre tenía deficiencias y por lo tanto obtenían una calificación baja..

A mitad de semestre 4 grupos tenían un el porcentaje de alumnos que presentaban su trabajo y obtenían una calificación aprobatoria del 72%, mientras los otros 4 grupos estaba por debajo del 50%, como se indica en la Fig. 3.

Ante esta situación se platicó con todos los profesores el fin de que mejoraran su forma de explicar y aplicar las TIC´s a lo cual accedió la mayoría. Por lo que procedieron, a darles a los alumnos los antecedentes teóricos que deberían de manejarla para desarrollar su tema y los orientaron a lo largo del desarrollo del mismo.

Al final del curso se analizaron los resultados, obteniéndose que en el 75% de los grupos el promedio de calificaciones fue aprobatorio, como se muestra en la Tabla 1.

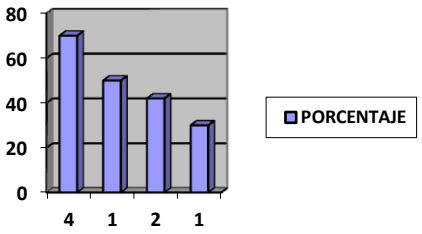


Figura 3. Porcentaje de alumnos aprobados contra número de grupos.

Tabla 1. Porcentaje de aprobación final de los grupos en estudio.

Grupo	% de aprobación al final del semestre	Aplicación adecuada de las TIC¨s por parte del profesor
M. M. 1	68	Desde inicio de curso
M. M. 2	30	Sin corrección
M. M. 3	62	Corrección a mitad de curso
M. M. 4	71	Desde inicio de curso
T.1	70	Desde inicio de curso
T. 2	68	Desde inicio de curso
T. 3	41	Sin corrección
T. 4	64	Corrección a mitad de curso

M.M.=Grupos de Mecánica de Materiales; T=Grupos de Termodinámica

Para conocer que opinaban los alumnos sobre la aplicación de las TIC´s en sus estudios y que ventajas o desventajas encontraban en las mismas, se aplico una encuesta, obteniéndose los siguientes resultados.
Los alumnos que tomaron clase con los profesores que desde un principio manejaron adecuadamente las TIC´s o corrigieron a mitad del semestre comentaron que:

a) Es importante el uso de las TIC´s en sus estudios pero que sin el apoyo de sus profesores resultaba muy complicado su aplicación, ya que al tratarse la mayoría de los temas de ingeniería, siempre se tenía que tener una buena base teórica.

b) Al no conocer al principio del curso en qué consistía su tema y cual eran los principales puntos que debería de contener el desarrollo del mismo, no podrían establecer y entender los problemas que expondrían a sus compañeros, aunque conocieran y aplicaran adecuadamente las TIC´s, por lo que la ayuda de los profesores fue importante para desarrollar adecuadamente su trabajo.

Los alumnos de los profesores que no quisieron cambiar su forma de aplicar las TIC´s, en su mayoría comento que:

1) Estas no servían de nada y que lo que manejaba el profesor al aplicar las mismas era no dar clase y dejarles todo el trabajo a ellos.

2) Las exposiciones de los temas fueron inadecuadas ya que ni los mismos alumnos que las exponían entendían que querían decir y con respecto a los problemas de ejemplo no habían entendido nada.

3) Que de la asignatura que habían llevado sabían lo mismo que al inicio del curso.

Conclusiones

El empleo de las TIC´s como apoyo a algunas asignaturas en carreras de Ingeniería en donde se aplican ampliamente las Matemáticas y la Física tiende a ser un poco complicada ya que como se establece las TIC´s son un magnifico apoyo para el alumno, pero en primer instancia este debe de tener todas las bases teóricas para poder obtener un conocimiento más avanzado, de lo contrario el empleo de las TIC´s o de cualquier otra herramienta que utilice no servirá de nada.

Los profesores deben cumplir adecuadamente con su papel de acompañantes de los alumnos en la obtención de conocimiento, de lo contrario aun aplicando las más modernas herramientas para obtener el conocimiento, estas no servirán de nada.

Los alumnos siempre estas dispuestos a aceptar retos pero también requieren y agradecen todo el apoyo que se les pueda brindar.

Aplicando de una manera adecuada las TIC´s es muy factible incrementar la eficiencia terminal de las Carreras de Ingeniería.

Por último es importante que cada Institución o escuela de educación superior establezca un programa de capacitación continua de los profesores en el uso del las TIC´s, buscando siempre una mejora continua del mismo y lo mas importante es estar siempre dispuestos a experimenta con nuevas formas de apoyar a los alumnos.

Referencias

[1] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Estadísticas históricas de México 2009*. Colección memorias. México 2010.

[2] Amalia Ortega. *Diseño de contenidos digitales bajo la perspectiva de Software educativo "Un escenario de innovación educativa".* Revista Electrónica de Estudios Telemáticos. ISSN :1856- 41 94. Volumen 7 Edición No 2 Año 2008

[3] Jimmy Rosario. *La tecnología de la información y la comunicación (TIC). Su uso como herramienta para el fortalecimiento y el desarrollo de la educación virtual*. http://www.cibersociedad.net/archivo/articulo php?art=218
[4] Héctor S. *Barrón. Seis problemas de los sistemas universitarios de educación en Línea*. http://www.um.es/ead/red/12/barron.pdf.
[5] Román Martínez. *Tecnología educativa en el salón de clase*. *Estudio retrospectivo de su impacto en el desempeño académico de estudiantes universitarios del área de Informática.* Revista Mexicana de Investigación Educativa. RMIE, abril-junio 2010, Vol.. 15, Num.. 45, pp. 371-390

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 31. Volumen 4(6), 7 páginas

SISTEMA DE SUGERENCIAS LITERARIAS BASADO EN ANÁLISIS DE OPINIONES Y PERFIL DEL LECTOR

Lorena Chavarría Báez[1], Jaime Javier Bautista Neyra[1], Luis Arturo Sánchez Dávila[1], Octavio Zapata Miramontes[1].

Resumen

Diversos organismos internacionales han señalado la importancia que tiene la lectura en el desarrollo de la educación, y por ende, de la sociedad. En México no existe una cultura de lectores y en muchas ocasiones se debe a malas experiencias literarias por ejemplo inadecuada selección o recomendación y esto sucede porque no se consideran los gustos de las personas. Hoy día, en el mundo se producen grandes cantidades de información y los libros no están exentos; es por ello que en este trabajo proponemos un sistema informático que haciendo uso de la Minería de Opinión para analizar la información de los libros y gracias a la Minería de Datos se analizará el perfil de un lector, que hasta donde sabemos, no se ha considerado para realizar sugerencias adecuadas.

Palabras clave: Lectura, Minería de datos, Minería de opinión.

Abstract

Various international organizations had pointed the importance that reading have in the development of the education, and therefore, of the society. In Mexico there is no reader's culture and often is due to bad reading experiences, e.g., inappropriate selection or recommendation, and this is because people preferences are not considered. Nowadays, large amounts of information are produce around the world, and books are not exempt; that's why in this document we propose a computer system using Opinion Mining (OM) to analyze the books information and thank to Data Mining (DM) will analyze the profile of a reader, that as far as we know, this hasn't been considered to make appropriate suggestions.

Key Words: Reading, Data Mining, Opinion Mining.

Introducción

La lectura es un proceso constructivo en el cual el significado no es una propiedad del texto, es decir, el lector construye su propio significado conforme va leyendo, y según sus conocimientos y experiencias en un determinado contexto, le va dando sentido [1]. De esta manera, el acto de leer se torna como una capacidad única del ser humano en la que de forma simultánea involucra todas sus facultades y se adquieren nuevos conocimientos [2].

La UNESCO ha señalado que los libros y el acto de leer constituyen los pilares de la educación y la difusión del conocimiento, la democratización de la cultura y la superación individual y colectiva de los seres humanos. Señala también que los libros y la lectura son, y seguirán siendo, instrumentos indispensables para conservar y transmitir el tesoro cultural de la humanidad, pues al contribuir de tantas maneras al desarrollo, se convierten en agentes activos del progreso. Reconoce que saber leer y escribir constituye una capacidad necesaria en sí misma; siendo la base de otras aptitudes vitales y de cualquier proceso de aprendizaje [5]. Sin embargo, también revela que el hábito de la lectura está muy poco desarrollado en algunos países; desafortunadamente México ocupa el penúltimo lugar de 108 países evaluados con un promedio de 2% de la población que cuenta con los hábitos permanentes de lectura, en contraste con Japón (91%), Alemania (67%) y Corea (65%) [4].

[1] IPN – ESCOM. Av. Juan de Dios Bátiz s/n esquina Miguel Othón de Mendizabal. Unidad Profesional Adolfo López Mateos. Col. Lindavista. 57 29 60 00 ext. 52048. E-mail: lorena_chavarria@yahoo.com.mx

Hoy día, debido a la creciente popularidad de sitios como blogs o redes sociales cualquier persona puede expresar y hacer públicas sus opiniones y experiencias acerca de distintos eventos. Esto hace factible que áreas como la Minería de Datos, analice esta información para encontrar patrones que sirvan de ayuda para la toma de decisiones [6].

Recientemente, la Minería de Opinión (Opinion Mining, OM) examina las opiniones de usuarios para diferentes propósitos, por ejemplo, para las empresas es sumamente importante conocer lo que piensan los usuarios sobre sus productos y/o servicios; y para los usuarios es relevante conocer las opiniones de otros sobre una determinada marca. Los ejemplos precedentes muestran la importancia que actualmente se le da a la opinión de los usuarios y la investigación que se está desarrollando al respecto

Considerando el problema del mal enfoque o la falta del hábito de la lectura en México y con las técnicas de OM en este documento se presenta una propuesta para desarrollar un sistema que sugiera a una persona (ya sea un lector pasivo o activo) el (los) libro(s) más adecuado(s) para la misma. Esto es con la finalidad de que, por un lado, el lector pasivo, o en algunos casos principiante, se cautive por el mundo literario y, por otro, el lector activo continúe con esta práctica. Hay que notar que la(s) recomendación(es) se harán considerando el perfil del lector, que es un aspecto que se ha descuidado en el fomento a la lectura.

Aunque existen aplicaciones similares en Internet, como la que se emplea en Amazon.com, en la cual a un comprador se le sugieren artículos en base a sus búsquedas, GoodReads.com, en la que los usuarios publican su opinión acerca de un libro, hasta donde sabemos, no se ha desarrollado alguna aplicación que aborde directamente el problema que aquí proponemos.

Problema de la lectura en México.

Ante la pobreza extrema, la inequidad y la falta de oportunidades para acceder a una educación digna y aspirar a una vida mejor, diversos organismos internacionales como la OCDE, la UNESCO, el Banco Interamericano de Desarrollo, el Banco Mundial y la Comisión Económica para América Latina han señalado que en los nuevos escenarios mundiales dominados por la globalización, la competitividad, la alta tecnología y la información, la educación y la lectura se constituyen en los pilares estratégicos del desarrollo de las naciones y por consiguiente, en una mejor posibilidad de aspirar a una calidad de vida superior por parte de los ciudadanos [7].

La indiferencia de los mexicanos ante la lectura de calidad, mantiene al país inmerso en una progresiva catástrofe silenciosa. De acuerdo a las últimas cifras difundidas por la UNESCO, México ocupa el penúltimo lugar en hábitos de lectura de una lista conformada por 108 naciones del mundo, con un promedio de lectura de 2.8 libros anuales por habitante, cifra muy alejada de los 25 volúmenes recomendados por este organismo internacional, y del promedio de lectura de la sociedad Japonesa, Noruega, Finlandesa y Canadiense que ocupan los primeros lugares a nivel mundial con 47 títulos per cápita [7].

Para contrarrestar esta situación el sistema educativo mexicano trata de inculcar el hábito de la lectura con obras como La Iliada, La Odisea, Don Quijote de la Mancha, La Divina Comedia, entre otras, que, a pesar de ser excelentes, para lectores que inician pueden resultar tediosas [5]. Entonces, una parte del problema radica también en que no se toman en cuenta los gustos y preferencias de los lectores.

Minería de Datos.

La Minería de Datos (DM, por sus siglas en inglés) es un proceso no trivial de identificación válida, novedosa, potencialmente útil y entendible de patrones comprensibles que se encuentran ocultos en los datos [6]. Por ejemplo, empresas de mercadotecnia utilizan estas técnicas para conocer tendencias de compra, aquellas dedicadas a la detección de fraudes usan modelos basados en la identificación de comportamiento anómalo, en la liga de baloncesto profesional americana (NBA) 28 de los 29 equipos que participan utilizan técnicas de DM para detectar patrones de comportamiento y relaciones entre variables del juego, de forma que estas técnicas ofrecen nuevas perspectivas para modificar las tácticas de juego a fin de mejorar el rendimiento del equipo [7].

La Minería Opinión es un área nueva y emergente de la investigación que se ocupa de la recuperación de información y del descubrimiento de conocimiento en textos con base en técnicas de Minería de Datos y Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN); su objetivo es reconocer y expresar emociones [22]. Las técnicas de OM pueden ser aplicadas a frases, oraciones o a documentos completos [23].

Actualmente si alguien quiere comprar un producto determinado, no está limitado a preguntar únicamente a sus amigos y familiares, ya que existen numerosas opiniones sobre productos en la Web que muestran la valoración del producto para diferentes usuarios. Para una compañía, puede no ser necesario dirigir encuestas, o contratar gente a fin de conseguir opiniones de clientes sobre sus productos y competidores porque el contenido generado en la Web puede darles esa información.

Sistema de sugerencias literarias basado en análisis de opiniones y perfil del lector.

Gracias al avance tecnológico [10, 11] es posible implementar el uso de técnicas computacionales con el fin de superar los atrasos que presentamos como sociedad, ya que como se mencionó anteriormente, el hábito de la lectura es de vital importancia debido a que es la base de la educación; por esto es factible utilizar tecnologías para apoyar el fomento de la lectura. En esta sección presentamos la propuesta de un sistema de software que, utilizando técnicas de OM realice una clasificación de libros en base a opiniones de usuarios en la web, para sugerir a un lector los textos en los que podría estar interesado. Una ventaja significativa de nuestra propuesta es considerar la información del lector para brindar una sugerencia apropiada y así, evitar el desinterés por el hábito de la lectura.

Una aplicación como la descrita puede tener varias vertientes: la principal es tomar en cuenta los gustos y preferencias de los lectores para recomendarles libros, pero también puede resultar de interés para las empresas para planear sus estrategias de venta o de captación de mercado. El diagrama general del sistema se muestra en la Fig. 1.

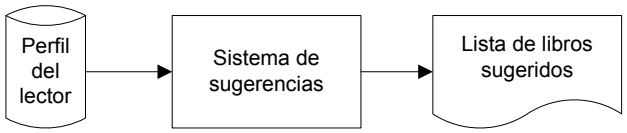


Fig. 1. Diagrama general del sistema.

El sistema propuesto será alimentado con el perfil del usuario (preferencias del lector) y como salida se tendrá una lista de libros propuestos, que se pretende sean los más adecuados para el usuario. Para realizar el proyecto se consideran las etapas mostradas en la Fig. 2.

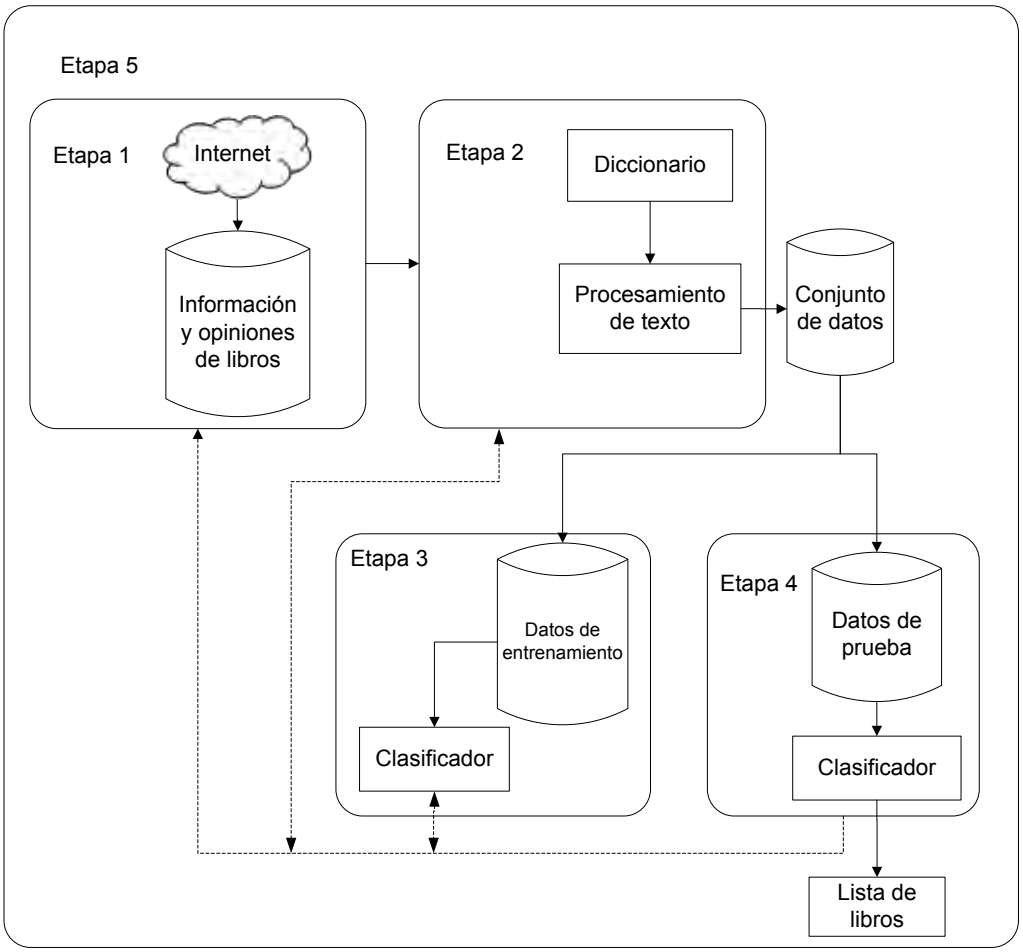


Fig. 2. Descripción de las etapas de descubrimiento de conocimiento.

Etapa 1. Integración y recopilación.
Se determinan las fuente de información a utilizar, para este caso se utilizarán páginas como GoodReads y Amazon, así como cualquier otra página de editoriales en donde podamos obtener los datos de los libros con los cuales construiremos la Base de Datos. Actualmente la Base de Datos cuenta con 45,098 registros de Libros y 23,988 registros de Autores.

Etapa 2. Selección, limpieza y transformación.
En esta etapa se revisan inconsistencias en la información filtrando los datos para obtener la información relevante. Una vez que se han preparado los datos, se comenzará la creación de un diccionario de términos de tal manera que facilite el uso de OM y minimizar la presencia de datos que causen problemas al modelado. Se ha desarrollado un vocabulario en español capaz de detectar 23 palabras positivas y 32 negativas con sus respectivas derivaciones, el cual nos será de utilidad para vectorizar las opiniones.

Etapa 3. Minería de datos.
Es una descripción de los patrones y las relaciones entre los datos que puedan usarse para hacer predicción, para entender mejor los datos o para explicar situaciones. Existen un gran número de algoritmos, de los cuales denotamos los de clasificación y agrupamiento.

Algoritmos de clasificación:

- **Bayesiano.** Es un clasificador de patrones basado en teorías estadísticas de aprendizaje. El aprendizaje bayesiano calcula la probabilidad de cada hipótesis de los datos y realiza predicciones sobre estas bases. Es un aprendizaje casi óptimo, pero requiere grandes cantidades de cálculo debido a que el espacio de hipótesis es normalmente muy grande, o incluso puede ser infinito.
- **Parzen.** Se trata de un clasificador basado en la estimación no paramétrica, que a diferencia de la paramétrica, donde se obtiene la función de densidad de probabilidad estimando los parámetros desconocidos de un modelo conocido, no se conoce el modelo. Esta técnica consiste básicamente en variaciones de la aproximación del histograma de una función de densidad de probabilidad desconocida. Este algoritmo se utiliza en la clasificación de imágenes o para clasificar y aprender simultáneamente. El problema de este clasificador es que tiene un tiempo de ejecución elevado.
- **Backpropagation.** En algunos problemas el uso de modelos simples de densidad paramétrica o el uso de modelos de histogramas no dan los resultados deseados. En estos casos se buscan modelos de densidad más sofisticados. Las redes neuronales son una técnica de aproximación paramétrica útil para construir modelos de densidad. El modelo de red neuronal habitual que utiliza este algoritmo consiste en una red con una capa de entrada con tantos nodos como entradas tengan, una capa oculta con un número de nodos variable que dependerá de las características del problema, y una capa de salida con tantos nodos como posibles salidas tenga.
- **Principal Component Analysis (PCA).** Es una técnica que busca reducir el número de variables, transformando el conjunto original de variables correlacionadas, que tienen información en común, en un conjunto de variables no relacionadas, que no tienen repetición o redundancia entre ellas, llamado conjunto de componentes principales. Las nuevas variables son combinaciones lineales de las anteriores.
- **Máquinas de vectores de soporte (Support Vector Machine, SVM).** Es una técnica sencilla y de gran aplicación cuando se pretende construir un clasificador utilizando ejemplos. A diferencia de las redes neuronales que intentan construir un modelo a posteriori, las SVM's tratan de obtener la frontera de decisión. Una de sus ventajas es su facilidad ya que únicamente hay que codificar la geometría de la frontera.

Algoritmos de agrupamiento [9]:

- **K-means.** Técnica de agrupación por partición que pretende encontrar un número de grupos de usuarios específicos (K) que son representados por sus centroides.
- **Jerárquico Aglomerado.** Se refiere a una colección de técnicas de agrupamiento relacionadas que producen una agrupación jerárquica empezando con cada punto como una agrupación singular y después repetidamente estar fusionando las agrupaciones más cercanas a una sola, con todos los que abarcan de las aplicaciones restantes. Algunas de estas técnicas tienen una interpretación en términos de agrupaciones basados en gráficos.
- **DBSCAN.** Este es un algoritmo de agrupación basado en densidad que produce una partición de grupos, en el cual el número de agrupaciones está automáticamente determinado por el algoritmo. Los puntos en regiones de baja densidad son clasificados como ruido y se omiten; por lo tanto DBSCAN no produce agrupaciones completas.

Etapa 4. Evaluación e integración.
Se llevará a cabo una validación simple que consiste en reservar entre el 5% y el 50% de los datos obtenidos en la etapa 2 para realizar diferentes pruebas al modelo clasificador; de esta manera sabremos el porcentaje de confiabilidad de la elección del mejor libro. Si se presenta un error se verifica a que etapa corresponde y se retroalimentará la etapa.

Etapa 5. Implementación del sistema.
Se lleva a cabo una implementación para los alumnos de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional y verificaremos su funcionamiento.

Para el desarrollo del sistema se empleará la metodología CRISP, la cual está dividida en 4 niveles de abstracción organizados de forma jerárquica en tareas que van desde el nivel más general, hasta los casos más específicos, como se muestra en la Fig. 3.

Dicha metodología organiza el desarrollo de un proyecto de DM en las siguientes fases:

Fase 1. Comprensión del negocio.
Permite recolectar los datos e interpretar correctamente los resultados. Las tareas dentro de esta fase son:

- **Determinar los objetivos del negocio:** Establecer cuál es el problema que se desea resolver, la necesidad de utilizar DM y los criterios de éxito.
- **Evaluar la situación:** Responder a preguntas tales como: ¿cuál es el conocimiento previo disponible acerca del problema?, ¿se cuenta con la cantidad de datos requerida para resolver el problema?, ¿cuál es la relación costo beneficio de la aplicación de DM?, etc.
- **Determinar los objetivos de DM:** Representar los objetivos del negocio en términos de las metas del proyecto de DM.

Fase 2. Comprensión de los datos.
Establecer un primer contacto con el problema, identificar su calidad y establecer las relaciones para definir las primeras hipótesis. Las tareas dentro de esta fase son:

- **Recolectar los datos iniciales:** Elaborar informes con una lista de los datos adquiridos, su localización, las técnicas utilizadas en su recolección, los problemas y las soluciones inherentes.
- **Describir los datos:** Establecer volúmenes de datos (número de registros y campos por registro), su identificación, el significado de cada campo y la descripción del formato inicial.
- **Explorar los datos:** Aplicar pruebas estadísticas básicas, que revelen propiedades en los datos, se crean tablas de frecuencia y se construyen gráficos de distribución.
- **Verificar la calidad de los datos:** Determinar la consistencia de los valores individuales de los campos, la cantidad y distribución de los valores nulos, para encontrar valores fuera de rango, los cuales pueden constituirse en ruido para el proceso.

Fase 3. Preparación de los datos.

- Preparar los datos para adaptarlos a las técnicas de minería de datos. Las tareas dentro de esta fase son:
- **Seleccionar datos:** Escoger un subconjunto de los datos de acuerdo a la calidad, completitud y corrección, además de limitar el volumen o los tipos de datos.
- **Limpiar los datos:** Eliminar aquellos registros que puedan provocar que el modelo no funcione correctamente.

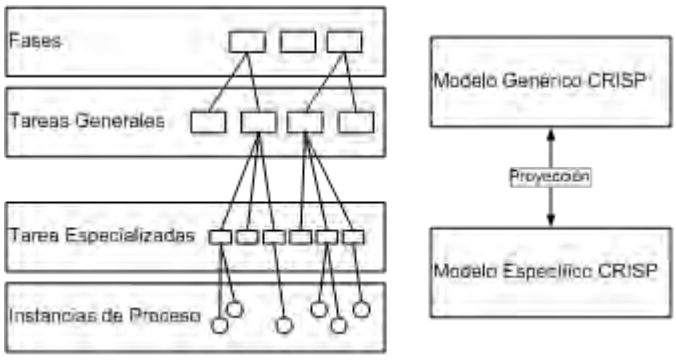


Fig. 3. Descripción de metodología CRISP [8].

- **Estructurar los datos:** Derivar nuevos atributos para integrar nuevos registros o transformar valores ya existentes.
- **Integrar los datos:** Crear nuevas estructuras, registros y tablas para fusionarlas, resumiendo características de múltiples registros o de otros campos.
- **Formatear los datos**: Transformar sintácticamente los datos sin cambiar su significado, lo que permite o facilita el empleo de alguna técnica de DM.

Fase 4. Modelado.
Las tareas dentro de esta fase son:

- **Seleccionar técnica de modelado:** Seleccionar la técnica de DM más apropiada al tipo de problema a resolver.
- **Generar un plan de prueba:** Enfocar la calidad y validez del modelo.
- **Construir el modelo:** Generar modelos a partir de la sumisión de los datos a la técnica elegida.
- **Evaluar el modelo:** Interpretar los modelos de acuerdo al conocimiento preexistente del dominio y los criterios de éxito preestablecidos.

Fase 5. Evaluación.
Evaluar el modelo conforme a los criterios o las circunstancias en las que se cumplen las posibilidades de éxito del problema. Además de considerar que los resultados esperados deben ser aplicables para el conjunto de datos sobre el que se realizó el análisis. Las tareas dentro de esta fase son:

- **Evaluar resultados:** Evaluar el modelo en relación a los objetivos del negocio, buscando deficiencias en el mismo.
- **Revisar:** Calificar el proceso entero de DM e identificar elementos que puedan mejorarse, si así lo requieren.
- **Determinar futuras fases:** Si es satisfactorio hasta este punto, se puede continuar a la siguiente fase, de lo contrario se debe optar por una iteración más desde preparación de datos o la modelación con otros parámetros. Inclusive pensar en la posibilidad de comenzar desde cero con un nuevo proyecto de DM.

Fase 6. Implementación.
Transformar el conocimiento obtenido y traducir en acciones la información obtenida dentro del proceso o aplicar el modelo a un conjunto diferente de datos, y de igual manera observar el comportamiento, así como los resultados. Las tareas dentro de esta fase son:

- **Plan de implementación:** Tomar los resultados de la evaluación y concluir una estrategia apropiada para dicha implementación. Es necesario documentar los procedimientos que se identifiquen para crear el modelo para su posterior implementación.
- **Monitorización y mantenimiento:** Preparar estrategias de monitorización y mantenimiento para aplicarlas a los modelos, en caso de que los modelos resultantes del DM sean implementados en el dominio del problema.
- **Informe final:** Realizar un resumen con los puntos importantes del proyecto y la experiencia obtenida, o una completa presentación donde se expongan los resultados logrados.
- **Revisión de proyecto:** Evaluar los errores y aciertos, qué se hizo bien y qué no, así como las posibles mejoras que pueden lograrse.

Conclusiones

En este artículo se presenta una propuesta para ayudar a contrarrestar el problema que representa la falta del hábito de la lectura que aqueja a gran parte de la población en nuestro país. Dicha propuesta plantea el uso de la tecnología informática conocida como Minería de Datos, especialmente apoyados en una rama de la misma; llamada Minería de Opinión. Con esto se busca analizar el impacto que han tenido diversos libros en las personas que los han leído, además de incorporar la información del perfil del lector para realizar la sugerencia más apropiada.

Con esto se pretende que el interés en las personas en México aumente al evitar en gran medida lecturas inadecuadas para ellas, así como ahorrar tiempo y dinero en la búsqueda de obras literarias de su agrado. Las editoriales también podrían hacer uso de este sistema al conocer las opiniones que tienen los lectores con respecto a los libros que ellos brindan para planear sus estrategias de venta o de captación de mercado.

Referencias

[1] Gómez Palacios, M., *et.al*., *La lectura en la escuela*. México:SEP, 1996. pp. 19-20.

[2] Arenzana, A, y García, A., *Espacios de lectura:estrategias metodológicas para la formación de lectores*, México:FONCA, 1995. p. 17.
[3] UNESCO, *Informe sobre la educación en el mundo*, Madrid:UNESCO:Santillana, 2000, p. 183.
[4] Paul, C., y Vargas, A., *México inmerso en el analfabetismo funcional, una catástrofe silenciosa,* en La Jornada, Ene. 15, 2001, pp. 1-2.
[5] "El problema de la lectura en México", disponible en: http://www.cultura.df.gob.mx/index.php/sala-de-prensa/boletines/1036
[6] Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., and Smyth, P., From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. *American Association for Artificial Intelligence,* 1996, pp 37-54.
[7] Gutiérrez Valencia, A., Montes de Oca García, R., La importancia de la lectura y su problemática en el contexto educativo universitario. El caso de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (México), Revista Iberoamericana de Educación, México.
[8] Chapman, P.: Clinton, J.: Kerber, R.: Khabaza, T.: Reinartz, T.: Shearer, C.: Wirth, R.: *CRISP-DM 1.0 Step-by-step data mining guide*, 1999.
[9] Pang-Ning Tan, Michael Steinbach and Vipin Kumar, *Introduction to Data Mining,* Addison Wesley 2006, pp 495.
[10] Binali, H., Vidyasagar, P., and Chen W., A State Of The Art Opinion Mining And Its Application Domains, in *Proc. of the 2009 IEEE Intl. Conf. on Industrial Technology, ICIT'09*, pp. 1- 6, 2009.
[11] OECD, *Program for International Student Assessment. Reading, mathematical and scientific literacy.* París : OECD. 2000. pp.12-19 (Las cifras son aproximados).
[12] Hernández Orallo, J., Ramírez Quintana, M. J., Ferri Ramírez, C., *Introducción a la Minería de Datos*, Pearson, 2007, pp. 656.
[13] R. Kohavi, A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection, in *Proc. 14th Int. Joint Conf. Artificial Intelligence*, 1995, pp. 338–345.
[14] G. Karypis, E. Han, and V. Kumar, Chameleon: Hierarchical clustering using dynamic modeling, *IEEE Computer*, vol. 32, no. 8, pp. 68–75, Aug. 1999.
[15] D. Fisher, Knowledge acquisition via incremental conceptual clustering, *Mach. Learn*., vol. 2, pp. 139–172, 1987.
[16] V. Guralnik and G. Karypis, Ascalable algorithm for clustering sequential data, in *Proc. 1st IEEE Int. Conf. Data Mining (ICDM'01)*, 2001, pp. 179–186.
[17] S. Gupata, K. Rao, and V. Bhatnagar, K-means clustering algorithm for categorical attributes, in *Proc. 1st Int. Conf. Data Warehousing and Knowledge Discovery (DaWaK'99)*, Florence, Italy, 1999, pp. 203–208.
[18] Jain A.K., and Dubes R.C. 1988. *Algorithms for Clustering Data*. New Jersey: Prentice Hall.
[19] Kaufman L., and Rousseeuw P.J. 1990. *Finding Groups in Data: an Introduction to Cluster Analysis*. John Wiley & Sons.
[20] MacQueen J. 1967. *Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations*. 5th Berkeley Symp. Math. Statist. Prob., edited by L. Le Cam and J. Neyman, Volume 1, pp. 281-297.
[21] Shishir, K., Shandilya, Surehs Jain, Opinion Extraction & Classification of Reviews from Web Documents, en *IACC'09: 2009 IEEE International Advance Computing Conference*, pp. 924-927, Patalia, India, 2009.
[22] Khairullah Khan, Baharum B.Baharudin, Aurangzeb Khan, Fazal-e-Malik, Mining Opinion from Text Documents: A Survey, 2009 3rd IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies, pp. 217-222.
[23] Theresa Wilson, Janyce Wiebe, and Paul Hoffmann, Recognizing contextual polarity in phrase-level sentiment analysis. In *Proceedings of the Human Langugae Technology Conference and Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, pages 347–354. The Association for Computational Linguistics, 2005.

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 35. Volumen 4(6), 10 páginas.

APLICACIÓN DE AGENTES TUTORES INTELIGENTES EN LA ENSEÑANZA DE FÍSICA EN EL TEMA: CONVERSIÓN DE UNIDADES FÍSICAS

Daniel Sánchez Guzmán[1], Claudia Rosado Guzmán[1,2]

Resumen

El vertiginoso desarrollo de lo que se conoce como Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) se ha materializado en la aplicación y convergencia de diferentes herramientas computacionales para mejorar el proceso enseñanza aprendizaje (PEA); la inteligencia artificial (IA) es una disciplina que involucra procesos computacionales y modelos aproximados al pensamiento humano. Una rama derivada de la IA corresponde a los Sistemas Tutoriales Inteligentes (STI), los cuales han tenido un desarrollo exponencial en los últimos veinte años, esto derivado de la rápida evolución del hardware que implica un mejor rendimiento y mayor capacidad de procesamiento de la información. El presente trabajo muestra el diseño y creación de un STI para ser aplicado en la enseñanza de la Física, en particular para el tema de: "Conversión de Unidades Físicas"; apoyándose en la herramienta *Cognitive Author Tutoring Tools* (CTAT), la cual permite la creación de tutores de ejemplo de traza (Example-Tracing Tutors en Inglés). Una ventaja de utilizar esta herramienta es que permite crear tutores de manera rápida y sencilla. Facilitando a profesores con poca o nula experiencia en programación el desarrollo, la creación y aplicación inmediata de este tipo de tutores.

Palabras clave: Proceso Enseñanza Aprendizaje, Sistema Tutor Inteligente, Enseñanza de Programación, CTAT.

Summary

The rapid evolution of what we know as Information and Communication Technologies (ICT) have been materialized and applied in many computational tools with the objective to improve the teaching learning process; Artificial Intelligence (AI) is a discipline that involves a computational process simulating the human thinking. A research line of AI is the development of Intelligent Tutoring Systems (ITS); these systems have had an exponential growth in recent years derived by the increased computational performance in hardware and information processes. Present work shows the design and creation of an ITS that can be applied in Physics Education the topic covered is the "Conversion Units in the International System (IS)". The tool for develop the ITS was the Cognitive Tutor Authoring Tool (CTAT), this permits to non-programmers teachers to build a fast prototyping Example-Tracing Tutors. The results show that these kinds of tutors can be building in a Latin-American context and also can be adapted to different learning units.

Keywords: Teaching Learning Process, Intelligent Tutoring System, Programming Teaching, CTAT.

Introducción

En la actualidad la educación en línea es un paradigma que está adquiriendo un papel muy importante, muchas instituciones y centros educativos tienden a adoptar estrategias que permitan ofrecer una mayor y mejor cobertura de sus planes y programas de estudio a un número mayor de población, esto con el objetivo de acelerar el proceso enseñanza-aprendizaje (PEA) y formar cuadros de profesionistas que atiendan las demandas del sector productivo.

[1] Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Legaria del Instituto Politécnico Nacional. Calz. Legaria, No. 694. Col. Irrigación, Del. Miguel Hidalgo, C. P. 11500 México D. F. Tel. (+52)-55-5729-6000 Ext. 67733. E-mail: dsanchezgzm@gmail.com

[2] Universidad del SABES. Plantel Pénjamo, Ejido San Rafael de Villaseñor, frente a Churipitzeo, Guanajuato. Tel. (+52)469-692-2578. E-mail: crosadog_tui@hotmail.com

De igual manera se debe de considerar que este paradigma no puede perder calidad en cuanto a contenido y adquisición de conocimiento por parte del alumno, apoyándolo en material educativo avanzado que implique un proceso de aprendizaje eficiente.

Aunado a la lenta implementación de esta modalidad educativa y por cuestiones de infraestructura en los países en vías de desarrollo existe también la barrera sobre el concepto clásico de la enseñanza presencial en donde un grupo de alumnos se presenta al aula a recibir clases, el maestro expone su tema de manera magistral y se discuten problemas relacionados a este, de los cuales la mayoría de las veces no se contrasta el concepto adquirido contra otras fuentes de información o no se realiza la experimentación de ciertos fenómenos físicos; llegando a limitar y generar el problema de no tener una retroalimentación más enriquecedora, que permita al estudiante validar los conceptos adquiridos y a la vez mejore su formación académica. Aquí el problema también es actitudinal por parte del personal docente que en muchas ocasiones ve a la tecnología como una herramienta que los desplazará el trabajo y por consecuencia se vuelven opositores a su aplicación dentro de la actividad docente, afectando principalmente a la comunidad estudiantil.

El cambio de paradigma no tiene gran aceptación en las personas y organizaciones aún y a pesar de los logros que las aplicaciones de la tecnología ha demostrado. Entre las *fuentes individuales de resistencia al cambio* se hallan los hábitos adquiridos y convertidos en rutinas que no facilitan sino anquilosan, la realización reflexionada de actividades con significado. La *resistencia organizacional* apunta a diversas inercias estructurales de mecanismos construidos ancestralmente que si bien producen estabilidad, son anacrónicos a las demandas de tiempos culturales diferentes. La inercia de una institución o grupo se da porque sus normas actúan restringiendo el cambio, sin enfrentarlo y repensarlo por lo que también, contribuyen a la misma resistencia [1].

En el campo de la investigación educativa se admite desde hace varias décadas la necesidad de utilizar los programas de computadora de todo tipo en la enseñanza de ciencias, esto derivado de las indudables ventajas pedagógicas que se han ido poniendo de manifiesto en múltiples trabajos de divulgación e investigación realizados en los países más avanzados [2]. En tales trabajos se ha puesto de manifiesto que los programas didácticos de computadora poseen algunas características bastante interesantes desde el punto de vista educativo, como son la gran capacidad de almacenamiento y de acceso a todo tipo de información, la propiedad de simular fenómenos naturales difíciles de observar en la realidad o de representar modelos de sistemas físicos inaccesibles, la interactividad con el usuario o la posibilidad de llevar a cabo un proceso de aprendizaje y evaluación personalizada, entre otras muchas aplicaciones educativas [3].

La problemática de falta de infraestructura que se presenta no es nueva dentro de varias instituciones a nivel latinoamericano pero es importante recalcar que para ellos la actualización en la infraestructura de TICs es sumamente importante sí se quiere tener presencia a nivel internacional. Particularmente es el hecho en el cual los programas que se ofertan en línea tienen la ventaja de romper fronteras y ser incluso ofertadas a alumnos de otros países; teniendo una participación más versátil, así como la diversificación y masificación del conocimiento, sin comprometer la calidad de los contenidos.

Al tener la libre navegación del usuario en la plataforma, haría falta cuestionarse si no es necesario darle mayor independencia al sistema, esto es, el usuario a demás de tener la libertad de navegar dentro del entorno educativo pueda de manera autónoma avanzar en la adquisición de conocimiento, para esto sería necesario el apoyarse en una herramienta que le permita autoevaluarse y lo guíe en el proceso enseñanza-aprendizaje. A nivel mundial existen herramientas que permiten llevar de manera autónoma la educación de una persona, por lo general se apoyan en técnicas de inteligencia artificial (IA), redes neuronales artificiales (RNA) y algoritmos genéticos (AG). Y cómo soluciones de este tipo de sistemas se tiene lo que se conoce como: sistemas expertos, sistemas heurísticos y agentes tutores inteligentes [4].

Definición y Conceptos de Agentes Inteligentes Educativos

A continuación serán descritas algunas características que debe de tener un agente para ser considerado como tal, para después tener una definición formal, se explicará de que se compone un agente, su funcionamiento e implementación. Por muchas décadas, investigadores de un amplio rango de campos han estudiado problemas que demuestran el comportamiento de algún tipo de agente [5,6]. De acuerdo a Pattie Maes del MIT, los agentes son: *"sistemas computacionales que habitan un medio ambiente complejo y dinámico, perciben y actúan de manera autónoma en su medio ambiente y aparte realizan una serie de actividades o procesos para los cuales fueron diseñados"*[7].

Estos agentes autónomos pueden tener diferentes aspectos dependiendo del entorno en el cual existen. Si el ambiente es real y físico, entonces el agente puede ser un robot por ejemplo. También existen agentes en 2 y 3 dimensiones que habitan sistemas computacionales en un ambiente virtual y los que se conocen como: *v.gr. knowbots* que son agentes de software o interfaces y que habitan en ambientes computacionales a nivel mundial y en redes de computadoras [7].

Se tiene un rango de características derivadas de los agentes y estos servirán para delimitar si un ente tanto físico como virtual es un agente. Se consideran autónomos, tienen la habilidad de "tomar la iniciativa", pueden formular sus propios objetivos y actuar en el orden de satisfacerlos también deben de tener la habilidad para poderse comunicar con otros agentes y con los seres humanos de una manera coherente, la comunicación puede ser a través de comandos de texto o más recientemente a través de reconocimiento de voz o inclusive a través de los gestos faciales [7] una característica importante también es la habilidad para aprender por parte del agente inteligente, esta habilidad sin duda es una de las principales ya que le permite percibir su entorno y responder a de acuerdo a los cambios que ocurran a lo largo del tiempo [8].

De acuerdo a lo descrito anteriormente se definirá lo que es un agente inteligente, para comprender la forma en que opera y como poder visualizarlo, para después situarlo dentro de un ambiente de aprendizaje. El término agente fue empleado por vez primera por Minsky en su obra *"The Society of Mind"*. En el momento actual, la palabra *"agente"* tiene muchos significados distintos, puesto que se utiliza en disciplinas muy distintas [9]. De acuerdo a las ideas de Minsky y adaptados a una perspectiva computacional se tiene que: *"un agente se puede visualizar como un algoritmo y/o programa que puede hacer por sí mismo una serie de procesos muy simples y que no necesitan tener autonomía o pensamiento particular, se encuentran dentro de un ambiente físico o virtual y es la unión de varios agentes lo que logra el tener un sistema más robusto, complejo y sobre todo que lo dota de un cierto grado de inteligencia".*

De la definición anterior se puede ver que los agentes se componen, como en la naturaleza, de partes pequeñas, funcionales y autónomas que sólo tienen conciencia de su entorno y bajo ciertas condiciones. Y los fenómenos que se le presenten determinarán como actuará el agente. Además como en cualquier sistema, la unión de varios agentes que cumplan diferentes funciones con un objetivo particular mejorará el rendmiento del mismo; después la comunicación entre estos agentes permitirá lograr un objetivo más complejo, dando como un sistema más robusto que se comporte como una entidad autónoma y que pueda realizar una mayor cantidad de funciones.

Posibles Complicaciones de la Concepción Canónica Cognitiva

Uno de los problemas que se presentan cuando se considera la resolución de problemas es que las soluciones producidas varían a través de las solicitudes del problema dentro de diferentes individuos o incluso en un sólo individuo en diferentes ocasiones, éstas variaciones se presentan en sujetos que toman diferentes trayectorias para la solución de un problema en particular y en función de los errores que se presentan cuando se realizan las actividades. En algunas ocasiones esto casi no es perceptible, pero una vez que se realiza un estudio de los tiempos se observan considerables variaciones para resolver una misma actividad, esta variación ha sido observada por varios investigadores en los procesos de resolución de problemas humanos [10].

Existen dos maneras básicas en las que la variación se ha explicado dentro del marco de trabajo canónico, una es referente al tipo de sujeto que aplica un proceso de cognición, aquí se ve afectado el proceso por el modelo cognitivo propio del sujeto o incluso del sujeto mismo en diferentes tiempos, dentro del marco de trabajo canónico estándar propuesto, esta variación va en detrimento de la reducción de diferencias y los sub-objetivos que pudieran llegar a ser requeridos, terminando en una frustración por parte del sujeto [11]. Uno de los esfuerzos realizados para poder caracterizar esta variación se refiere con el conteo de los errores que se presenten en una tarea en particular, a estos errores se les conoce como *"bugs"*, tomando la analogía de los errores que se presentan cuando se realiza la programación a través de un lenguaje de programación computacional. En la actualidad se continúa con los estudios referidos a estos *bugs*, apoyándose en el historial académico de los estudiantes, el problema que se presenta en la actualidad es que la medición de los errores no ha permitido tener una buena confiabilidad como para poder generalizar los *bugs* que se presentan.

La segunda explicación que se da se refiere a la manera aleatoria en la que una elección se presenta como incorrecta por parte del sujeto que la aplica dentro del espacio de posibilidades, esto deja como tal una pérdida de sistematización dentro del marco de trabajo, pero lo que han demostrado los estudios realizados muestran que el sujeto a lo largo del tiempo obtiene experiencia y ésta es fundamental para poder solucionar una actividad en particular; reduciendo de manera considerable la selección de errores para una actividad en particular y con un grado de dominio alto [12]. Se puede ver que dentro de la naturaleza humana al igual que en muchos procesos no se puede tener un carácter determinista respecto a la solución de problemas se deben basar en datos estadísticos y establecer un comportamiento aleatorio para poder modelar el comportamiento de la cognición humana.

Dentro del marco de trabajo se debe de considerar que los estudiantes están trabajando sobre un dominio en particular; para los estudiantes con un alto grado de experiencia se llega a presentar una modificación respecto al conocimiento que tienen, logrando combinar de manera indistinta diferentes dominios y realizando por lo tanto tareas más complejas y con un mayor número de variables; esto está definido ya que sus dominios, problemas y experiencias particulares les permite manejar un conjunto más amplio de bloques

de conocimiento e incluso tener bloques de conocimiento con una mayor cantidad de información. En contraste los alumnos con un menor nivel de experiencia presentan deficiencias para poder asociar diferentes dominios, además de que sus bloques de conocimiento tiene menor información, requiriendo por lo tanto una mayor cantidad de memoria para recordar datos o hechos de una actividad en particular [13]. Como resultado se ha llegado a la conclusión de que los alumnos con mayor experiencia tienen una mejor memoria a largo plazo, el incremento de la memoria a largo plazo y la descripción de su funcionamiento esta fuera del alcance del marco de trabajo canónico pero la teoría ACT-R pero una completa descripción es incluso incorporada dentro de su arquitectura.

Se puede observar que conforme un estudiante comienza a trabajar sobre un dominio en particular este comienza a adquirir habilidades y su nivel de rendimiento mejora paulatinamente, reduciendo por consecuencia el tiempo de respuesta o la reducción de errores, este comportamiento ha demostrado tener un comportamiento potencial y se representa de la siguiente forma:

$$P = AN^{-b} \tag{1}$$

donde: P – Medida de Rendimiento (Unidades de Tiempo o Cantidad de Errores).
A – Constante escalar.
N – Número de Intentos o de Prácticas Realizadas.
b – Constante de aprendizaje.

La función potencial de rendimiento tienen la característica peculiar de trabajar de manera apropiada con cada unidad de aprendizaje, el rendimiento mejora respecto a la tasa de aprendizaje dada por *b*; esta ecuación predice de una manera más rápida el aprendizaje que es observado. El hecho de tener una ley potencial de aprendizaje permite crear una conexión entre la teoría de aprendizaje y la resolución de problemas ya que la ley de potencial describe tanto situaciones de aprendizaje simple como situaciones de aprendizaje muy complejo, como el hacer pruebas en geometría; esta ley muestra la correlación entre diferentes bloques de conocimiento y un fuerte enlace entre conceptos asociados. Si se realiza un análisis de la ecuación se podrá comprender mejor como ésta ecuación permite analizar la estabilidad de aprendizaje respecto a los intentos en una actividad en particular. La Fig. 1 muestra el comportamiento de la ecuación para un valor de A = 1, N = 1…100 (cien intentos), b =0.5.

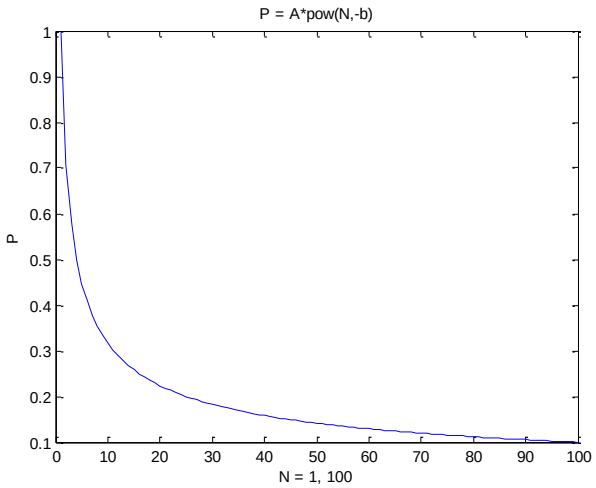


Fig. 1. Valor de P con A = 1; N = 1...100; b = 0.5

De la Fig.1 se puede observar que conforme el número de intentos aumenta, se presenta un rendimiento mejor mediante la reducción de la probabilidad de cometer errores que se pueden presentar; a diferencia de pocos intentos donde la probabilidad de cometer errores es mayor.

Descripción de CTAT

El software que sirve de interfaz de comunicación entre Adobe Flash Player©(AFP) y el tutor se conoce como Cognitive Tutor Authoring Tools (CTAT) ó Herramientas de Autoría para Tutores Cognitivos de su traducción al Español, esta herramienta ha sido diseñada y en la actualidad se mantiene en constante desarrollo para poder elaborar tutores inteligentes, fue creada en la universidad Carnegie Mellon (Carnegie

Mellon University – CMU) a través del Instituto de Interacción Hombre-Computadora (Human Computer Interaction Institute – HCII) [15] dirigido por Michael Bett y colaboradores, así como la participación de John R. Anderson y colaboradores del Departamento de Psicología de la CMU. Del cual se apoyo la mayoría del desarrollo y modelado de los procesos cognitivos descritos. Este software permite capturar y retroalimentar al alumno respecto a una unidad de aprendizaje en particular, esto es, si queremos que el alumno aprenda a sumar el modelo propuesto por Anderson [14,16,17] sirve al tutor para que este vea todas las posibilidades y al profesor para diseñar la secuencia que debe de seguir un problema determinado, de ahí se tienen que describir los pasos que el alumno aplicará una vez que interactué con el tutor; estos pasos son evaluados por el tutor y en caso de que al alumno se le presente un problema el tutor tiene la posibilidad de brindad "tips" o "hints" para que el alumno avance en la resolución del problema y logre avanzar en su aprendizaje.

La Fig. 2 muestra la interfaz gráfica del software CTAT, en ella se pueden apreciar las diferentes áreas de las que se compone. El área de mayor tamaño es dónde se van describiendo las secuencias o pasos de un problema en particular, dentro de cada uno de estos pasos se pueden definir los errores más comunes por parte de los estudiantes e instruir al tutor para que de aviso al usuario de que la acción que acaba de realizar es incorrecta.

Es importante aclarar que este software no es visualizado por el alumno, el alumno sólo interactúa con la interfaz gráfica del tutor, CTAT se ejecuta de manera paralela al tutor y permanece en segundo plano, apoyando al software en AFP, en dónde el estudiante realmente es enfrentado con la actividad de aprendizaje.

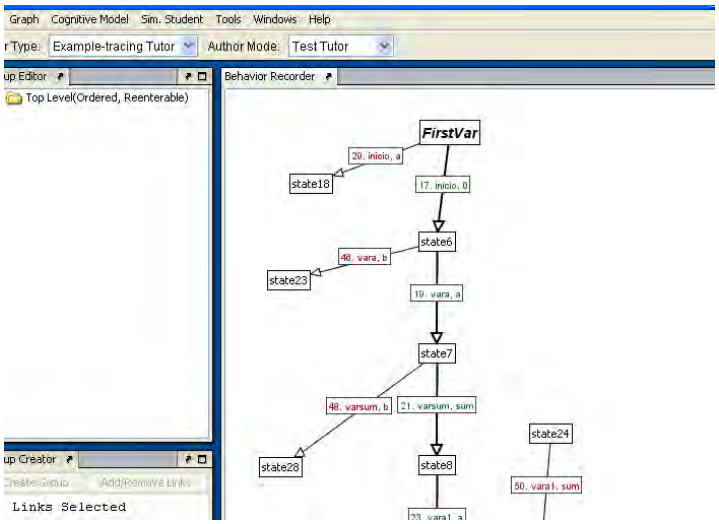


Fig. 2. Pantalla de software CTAT. Se presentan los estados o pasos de una actividad. El texto en verde corresponde a un paso correcto y el texto en rojo a un posible error que cometa el alumno.

El área de mayor tamaño se conoce como *Behaviour Recorder* y es dónde los pasos son almacenados y se instruye al tutor del comportamiento que debe de tener. La segunda área que es más pequeña se encuentra a la izquierda superior del programa y se llama *Group Editor*, en este espacio se tienen registradas diferentes opciones del software y que se van agregando para que el tutor tenga más características de operación así como permitir una mayor versatilidad, sí se toma como base el modelo de cognición presentado en capítulos anteriores, se puede considerar este espacio como si fuera una caja de herramientas donde se puede agregar módulos de operación como el módulo visual o motriz. Por último el área más pequeña conocida como *Group Creator*, la cual permite crear los enlaces a diferentes aspectos cognitivos que se van desarrollando dentro del tutor y que permiten crear una red de interacción entre memoria declarativa y procedural, cerrando el ambiente de trabajo y permitiendo controlar la actividad que será resuelta por el alumno.

CTAT presenta dos opciones de trabajo importantes, la primera opción corresponde al trabajo en modo demostrativo, esto es, primero se entrena al tutor respecto a un grupo de secuencias o pasos, se configuran las opciones de acierto y error, así como los mensajes de ayuda (*hints*) para el estudiante. La segunda opción de trabajo es la correspondiente a la prueba o puesta en marcha, dónde una vez que el tutor tiene la información correspondiente a la actividad se emplea de manera paralela con la interfaz gráfica para que el usuario interactué y obtenga los resultados; almacenando los pasos hechos por el alumno y registrando todos los eventos que se lleven a cabo para su posterior análisis.

Interfaz gráfica de comunicación entre tutor y alumno

Para crear la interfaz de comunicación entre el tutor y el alumno, se empleó el software Adobe Flash Professional© (AFP), Fig. 3. Tanto CTAT y AFP interactúan a través de bibliotecas para poder agregar los elementos de trabajo del tutor, en la siguiente figura se puede observar el entorno de trabajo de AFP, en el centro de la pantalla se tiene la plantilla de trabajo del tutor, la cual se agregó a través de la biblioteca de CTAT, el elemento agregado se conoce como *CommShell* y es un espacio donde se pueden colocar diferentes elementos que servirán al tutor para su correcto funcionamiento.

Esta característica permite tener una mejor disponibilidad de la tecnología, además de permitir al diseñador de contenidos enfocarse a la parte visual y crear una interfaz atractiva para el estudiante, dejando la parte de programación para el personal profesional encargado de esas funciones.

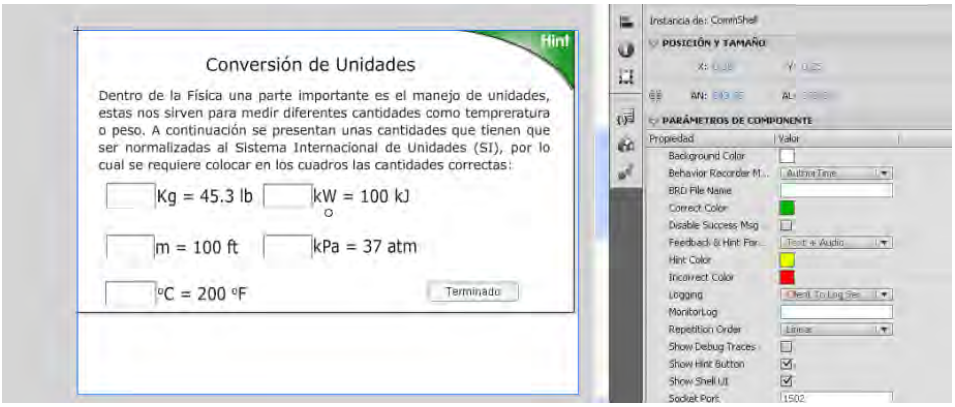


Fig. 3. Entorno de trabajo de Adobe Flash Professional©. En él se muestra la creación de un entorno de trabajo para el tutor.

De igual manera la comunicación final entre el AFP y CTAT es a través del *CommShell,* ya que este se comunica a CTAT utilizando lo que se conoce como un *socket*[3] de comunicación.

Se pueden hacer pruebas preliminares del funcionamiento de la interfaz gráfica para ver el comportamiento del software y como será desplegado para el alumno, la Fig. 4 muestra cómo se ve una interfaz en particular.

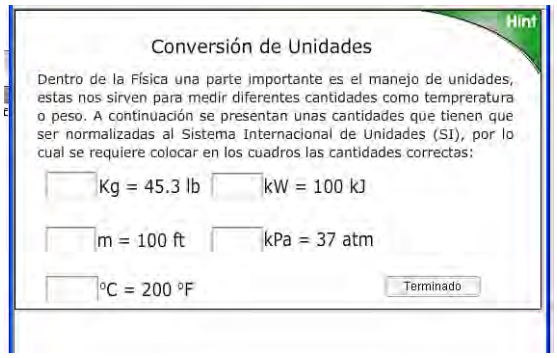


Fig. 4. Pantalla de interfaz para el alumno utilizando Adobe Flash Professional.

Se puede observar en la figura anterior que el tutor diseñado es para tratar el problema de conversión de unidades, se presentan unos cuadros de texto en dónde el alumno escribe las respuestas correctas, y en la esquina superior derecha un botón verde con la etiqueta *"hint"* esta etiqueta permite que el tutor ofrezca ayuda al estudiante en el momento que este requiera información adicional para resolver el problema.

[3] El término *socket* se refiere al establecimiento de un canal de comunicación lógico entre dos dispositivos o programas; hace referencia a la utilización de un puerto TCP dentro de los protocolos TCP/IP.

Creación del tutor de conversión de unidades

El presente apartado pone en práctica los conceptos descritos anteriormente, para esto se plantea cuál será la función del tutor, cómo se construye un tutor con las características necesarias y opciones de operación, a continuación se describe una manera de hacer las pruebas preliminares para después tener el tutor final, el cual será puesto en práctica en lo que se podría considerar un experimento *in vivo*.

Uno de los problemas de aprendizaje en el área de física se presenta cuando el alumno tiene que trabajar con el manejo de unidades de medición; en la mayoría de los currículos a nivel bachillerato los primeros temas que son abordados tienen que ver con el manejo de unidades y su relación con el Sistema Internacional de Unidades (SI), así como la relación de estas unidades respecto a otros sistemas, como son el Sistema Inglés o el MKS. El tutor que aquí se presenta para tiene por objetivo desarrollar la habilidad en los estudiantes de hacer la manipulación y conversión correspondiente además de permitir llevar al alumno dentro del problema, retroalimentarlo sí existiera alguna situación incorrecta y por último sí no hubiera posibilidad de avance respecto al aprendizaje ofrecer la respuesta correcta. Mencionado lo anterior se comenzará con la descripción para la creación del tutor que sirva a los estudiantes a desarrollar sus habilidades en el manejo de los sistemas de unidades.

Después se continúa con la creación de cuadros de texto con las instrucciones correspondientes a la actividad; este texto se puede agregar utilizando la herramienta de texto de AFP, la elección y colocación de contenido depende de cada diseñador de contenidos y el objetivo que se quiere lograr. La siguiente figura muestra el texto creado para el tutor.

La edición de texto es muy similar a un procesador de texto y permite tener diferentes estilos de letra, de tal manera que la presentación visual sea atractiva para el estudiante. Una vez terminado el texto para poder informar al usuario final que es lo que debe de llevar a cabo, se procede con crear cuadros de texto, en dónde el usuario colocará los valores correspondientes solicitados una vez que el tutor este en funcionamiento. La Figura 5 muestra la asignación de cuadros de texto y las cajas de texto con la información correspondiente.

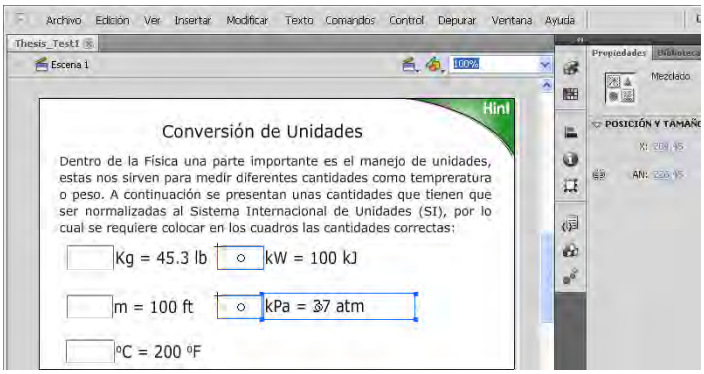


Fig. 5. Inserción de cuadros de texto para captura de resultados en el tutor.

Es importante ver la parte del diseño, esto es más dejado a la imaginación y creatividad que el diseñador de contenidos considere pertinente. Para el presente tutor se contempla un esquema de fácil comprensión, dando énfasis en las instrucciones para que el alumno interprete de una manera lo más clara posible lo que se le pide a resolver, ya que el colocar mucho texto en una actividad tiende a aburrir y a generar perdida de interés. Por último se debe de crear un botón que permita determinar al tutor que la actividad ha sido terminada por parte del usuario, para eso se coloca un botón de termino; la Figura 6 muestra este botón.

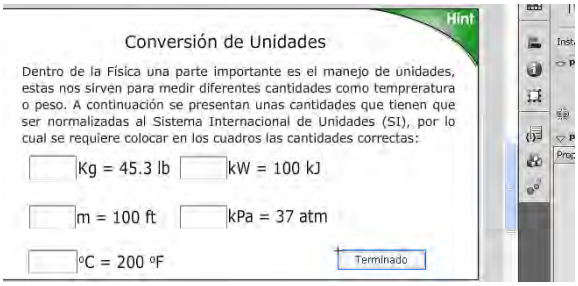


Fig. 6. Pantalla que contiene el botón de término de la actividad y detiene la ejecución del tutor.

El contar con este botón permite que el tutor identifique el término de una actividad y envíe a través de CTAT los mensajes de terminación y cierre para que el software de ACT-R concluya sus actividades y retroalimentaciones con el usuario. Hasta el momento se tiene la parte de creación de interfaz gráfica de usuario lo que permitirá al usuario poder interactuar con el tutor inteligente, a continuación se describirá como se genera la instrucción al tutor en base a la interfaz de usuario y se colocan los mensajes de ayuda para el alumno, además de determinar cuándo una operación es incorrecta y cuando no.

Entrenamiento del Tutor de Ejemplo de Traza

CTAT permite registrar los eventos que se llevan a cabo dentro de la interfaz en AFP, para iniciar este proceso se debe de primero crear un nuevo estado en CTAT que registre los eventos de la interfaz AFP, esto se llevará a cabo cuando la interfaz se ejecute y se comiencen a agregar datos dentro de los cuadros de texto.

Como consideración de omisión CTAT considera que todos los eventos que se lleven a cabo por primera vez serán los correctos. La Figura 7 muestra cómo CTAT captura el dato del primer cuadro de texto y este se considera como un dato correcto.

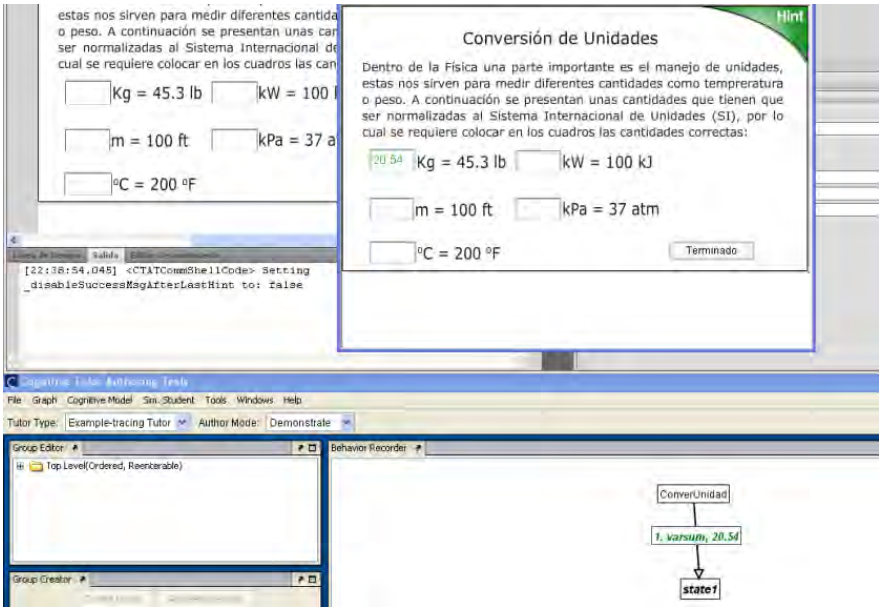


Fig. 7. Captura de información correcta en la interfaz de usuario para entrenamiento del tutor, el texto en color verde es considerado como información correcta por parte del tutor.

En esta primera instrucción el tutor reconoce que el texto capturado es la cantidad correcta de la actividad, así se continúan capturando las demás cantidades y se completa la traza completa de resultados. Una vez completada la traza de la actividad se procede a oprimir el botón con la leyenda: "Terminado", esto avisa al tutor que la actividad, con los valores correctos se ha concluido y se procede a detener el software y las comunicaciones con ACT-R.

Hasta este momento el tutor ya tiene las instrucciones necesarias para poder validar la actividad, sabe cuáles son los valores correctos y procede a guardarlos en la memoria procedural de ACT-R, a partir de ahora se debe de entrenar al tutor cuando un valor capturado es incorrecto, para que este a su vez pueda dar aviso al usuario y poder retroalimentarle, la descripción de asignar los errores al tutor se hará para el primer valor, el resto del entrenamiento opera de manera similar.

Para poder asignar un valor incorrecto se debe de reiniciar el tutor e ir colocando los valores equivocados para después ir corrigiendo al tutor de dato erróneo y este a su vez lo tenga presente para futuras aplicaciones. Lo primero que se tiene que hacer es ir al estado inicial y colocar el valor incorrecto, a través de comandos se le instruye al tutor de que es un valor incorrecto y se le asignan los mensajes de ayuda al tutor para que este los pueda desplegar al usuario final. La Fig. 8 muestra cómo es que se le asigna al tutor el valor incorrecto de un paso, se puede ver que la acción que se captura es incorrecta al ser una letra y esto se le debe de indicar al tutor, a manera de referencia el texto cambia de color verde a rojo para hacer la indicación visual de que este es un valor incorrecto.

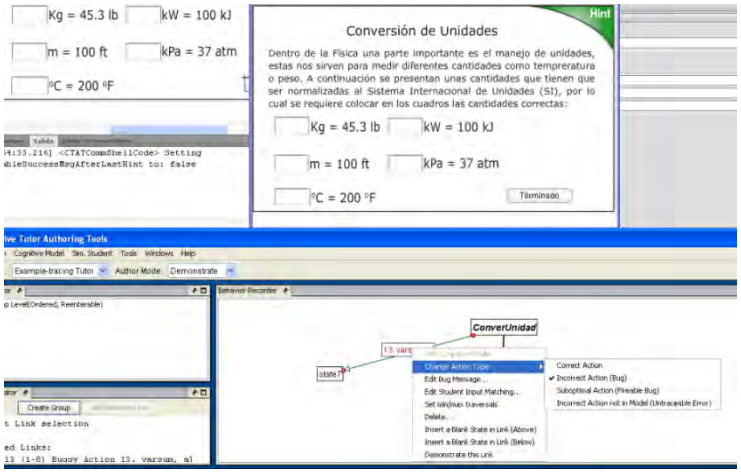


Fig. 8. Determinación de un error al momento de ser capturado por el usuario.

Para poder dar retroalimentación al estudiante se tiene una ventana donde se capturan los mensajes que darán soporte al alumno y pueda continuar con la actividad. Estos mensajes parecerán cuando se da click en el botón: *"hint"*, se tiene la opción de colocar tres mensaje de ayuda, se pueden agregar más mensajes dependiendo de la complejidad de la operación o actividad a realizar, pero una recomendación es colocar tres, dos que den pista fáciles de comprender y asociar y una última indicando el valor correcto y a ser colocado en la interfaz de usuario [16,19]. Para ingresar estos mensajes de apoyo los mismos se encuentran dentro del estado correcto, la Fig. 9 muestra la ventana con los mensajes capturados de ayuda.

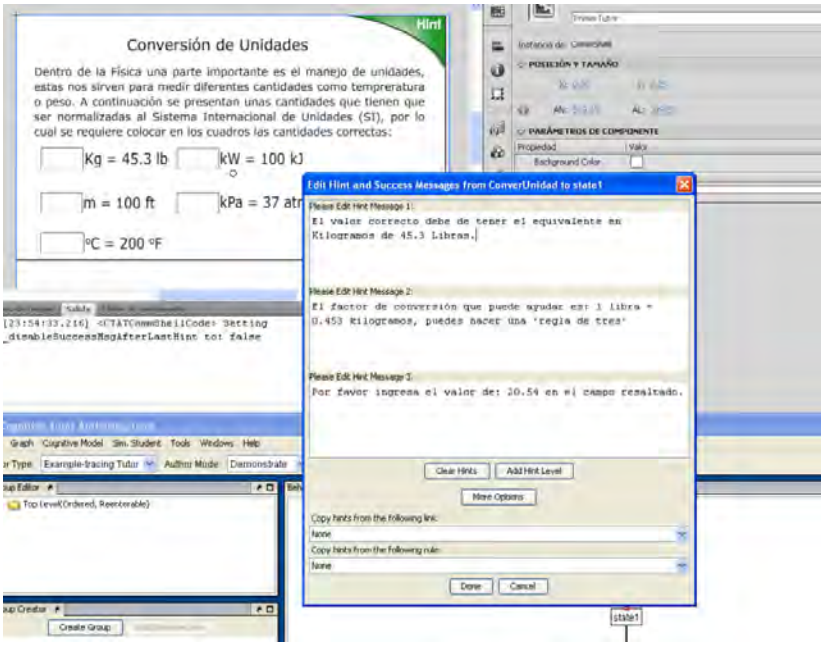


Fig. 9. Modificación del mensaje de error para notificar al usuario de una acción incorrecta.

Se puede observar en la Fig. 9 que los mensajes que se colocan dan una idea de cuáles son los datos que debe de contener la caja de texto, sí el alumno tiene problemas para poder determinar qué valor debe de ir, el tutor al final muestra cuál es ese valor. Aquí se debe de mencionar que todos los intentos y pasos llevados a cabo por el alumno son registrados para poder tener un análisis de la resolución de problemas para futuros trabajos, como se comentó en el capítulo referente a la teoría ACT-R existe lo que se conoce como curva de aprendizaje, derivada de la ecuación de aprendizaje (ec. 1), esta curva se puede obtener de los datos que almacena el tutor y después generar las gráficas correspondientes.

Los pasos que se acaban de describir se llevan a cabo para cada una de las operaciones que debe de realizar el alumno en las diferentes conversiones de unidades. Se ha descrito como se entrena y prepara el tutor para poder llevar a cabo la implementación del experimento *in vivo*.

Conclusión

Del trabajo presentado se puede concluir que el desarrollar este tipo de herramientas permite crear un componente adicional al proceso enseñanza aprendizaje, debemos de tener presente que en la actualidad la tendencia de instrucción es hacia sistemas computarizados que sirvan de apoyo para mejorar el rendimiento en el aprendizaje de los alumnos y que permitan una adecuación al ritmo de aprendizaje de los mismos. Un problema derivado de utilizar este tipo de herramientas es la adecuación en el contexto nacional en los países en vías de desarrollo, se debe de mejorar la interfaz y a veces por cuestiones de carencia tecnológica es difícil el implementar este tipo de sistemas a pesar de que el diseño y exportación a ambientes multiplataforma es sencillo. La herramienta es flexible para poder utilizar en diferentes unidades de aprendizaje y bajo diferentes esquemas de enseñanza, lo cual facilita la adopción en diferentes contextos de enseñanza. De igual manera se ve la facilidad con la cual este tipo de herramientas se pueden utilizar sin tener un conocimiento profundo de programación o de Inteligencia Artificial ya que CTAT incluye los módulos correspondientes y el diseño de la interfaz gráfica a través de Adobe Flash Player es bastante intuitivo y amigable.

Agradecimientos

Daniel Sánchez Guzmán agradece a la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional, México, por los recursos otorgados a través del proyecto SIP-2011-0612. Así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través del Sistema Nacional de Investigadores por la beca otorgada como investigador candidato.

Referencias

[1] Fainholc, B. (2008). "De Cómo las TIC's Podrían Colaborar en la Innovación Socio-Tecnológico-Educativa", *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, Vol. 11, No. 1, pp. 53-79.
[2] Hartley, J.R. (1988). "Learning from computer based in learning in science". *Studies in Science Education*, No. 15, pp. 55-76.
[3] Lelouche, R. (1998). "How education can benefit from computer: A critical review". *Proceedings of IV International Conference CALISCE '98*, Donostia, pp. 1105-1122..
[4] Kenneth, A. (2008). "Evolving Intelligent Agents: 50th Year Question". *IEEE Computational Intelligence Magazine*, pp. 12-17.
[5] Riecken, D. (1994). "Intelligent Agents". *Communications of the ACM*, Vol. 37, No. 7, pp. 18 – 21.
[6] Aleven, V., McLaren, B.M., Sewall, J., & Koedinger, K. R. (2006). The Cognitive Tutor Authoring Tools (CTAT): Preliminary evaluation of efficiency gains. In M. Ikeda, K. D. Ashley, & T. W. Chan (Eds.), *Proceedings of the 8th International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (ITS 2006), (pp. 61-70). Berlin: Springer Verlag.
[7] Maes, P., (1995). "Artificial Life meets Entertainment: Lifelike Autonomous Agents". *Communications of the ACM*, Vol. 38, No. 11, pp. 108-114.
[8] De Diana, I., Arroyo, L., (1999). "Knowledge Management for Networked Learning Environments: Applying Intelligent Agents". *[On-line] Available URL: http://projects.edte.utwente.nl/proo/italo.htm (Visitado en Mayo 2011)*
[9] Minsky, M. (1985) "The Society of Mind", New York, *Simon and Schuster*, pp. 10-28.
[10] Anderson, J. R., Kushmerick, N., Lebiere, C. (1993). "Navigation and conflict resolution". *In Rules of the Mind*, by Anderson, J. R., L. Erlbaum Associates, pp. 258-287.
[11] VanLehn, K. (1989). "Problem-solving and cognitive skill acquisition". In M. Posner (Ed.), *The foundations of cognitive science*, Cambridge, MA, MIT Press, pp. 527-580.
[12] Atwood, M. E., Polson, P. G. (1976). "A process model for water jug problems". *Cognitive Psychology*, No. 8, pp. 191-216.
[13] Chase, W. G., Simon H. A. (1973). "The mind's eye in chess". In W. G. Chase (Ed.), *Visual information processing*, San Diego, CA, Academic Press, pp. 215-281.
[14] Anderson, J. R. (2007). "How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe?" *Oxford University Press, Inc.* pp. 39-80. ISBN 978-0-19-532425-9
[15] LearnLab. (2009). Pittsburgh Science of Learning Center. http://www.learnlab.org/.
[16] Koedinger, K. R. & Corbett, A. T. (2006). Cognitive Tutors: Technology bringing learning science to the classroom. In K. Sawyer (Ed.) *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*. Cambridge University Press.
[17] Matsuda, N., Cohen, W. W., Sewall, J., Lacerda, G., & Koedinger, K. R. (2007). Evaluating a simulated student using real students data for training and testing. In C. Conati, K. McCoy & G. Paliouras (Eds.), *Proceedings of the International Conference on User Modeling* (LNAI 4511) (pp. 107-116). Berlin, Heidelberg: Springer.
[18] Matsuda, N., Cohen, W. W., & Koedinger, K. R. (2005). Building Cognitive Tutors with programming by demonstration. In S. Kramer & B. Pfahringer (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Inductive Logic Programming* (Technical report, TUM-I0510) (pp. 41-46): Institut fur Informatik, Technische Universitat Munchen.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 41. Volumen 4(6), 8 páginas

EMPLEO DE REGISTROS SEMIÓTICOS CON EL USO DE SIMULACIONES EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE CÁLCULO

Elena Fabiola Ruiz Ledesma [1], Erika Hernández Rubio[2], Alejandro Oropeza López[3]

Resumen

El presente artículo aborda la problemática de la resistencia que existe por parte de estudiantes de nivel ingeniería a utilizar diferentes registros de representación en la resolución de problemas de optimización en la materia de Cálculo. Se muestra como estrategia de enseñanza, el uso de simulaciones en un medio electrónico, las cuales apoyan al estudiante para emplear los registros de representación: tabular, gráfico y algebraico. Se hacen entrevistas a 4 profesores que han impartido el curso de Cálculo, así como un cuestionario diagnóstico a 90 estudiantes antes de trabajar con la propuesta y después de ella. En el marco Teórico se enfatiza el hecho de que no es suficiente trabajar las actividades mediante el sistema de representación algebraico. Se concluye que es necesario implementar en el aula tareas en las que la actividad matemática demande el uso coherente de diferentes representaciones para darle sentido al contenido del problema y a su proceso de solución.

Palabras clave: Simulaciones, Representaciones semióticas, resolución de problemas, Cálculo.

Abstract

The present paper shows the problem that exist with engineering students to use different representation registers in the optimization problem solving in the calculus subject. As a strategy the use of simulations in an electronic way is shown that help the students to use the representations registers: tubular, graphic and algebraic. Interviews to 4 professors that have given calculus classes are done and a questionnaire to 90 students after and before it. In the theoretical framework emphasis in the fact that is not enough to work with activities by using the system of algebraic representation. Is concluded that is necessary to implement tasks in the classroom where the mathematic activities can demand a coherent use of different representations to give sense to the content of the problem and to its solving method.

Keywords: Calculus, Semiotics Representation, Simulations, Solving Problems.

Introducción

En el estudio que se muestra en el presente artículo se considera como referencia el enfoque cognitivo basado en los registros de representación semiótica señalados en [1] y en los registros de representación de Hitt [2]-[6], como apoyo en la resolución de problemas de optimización trabajados en la unidad de aprendizaje de Cálculo en el segundo semestre de ingeniería. Con base a la importancia del empleo del registro tabular, algebraico y gráfico, se diseñan simulaciones elaboradas en flash y son empleadas por una muestra de 4 maestros que han impartido esta Unidad de Aprendizaje.

Por lo anterior se inicia con lo señalado en Duval [1], respecto a que las representaciones semióticas son aquellas producciones constituidas por el empleo de signos como: un enunciado en lenguaje natural, una fórmula algebraica, un gráfico o figura geométrica. Las representaciones semióticas no parecen ser más que el medio del cual dispone un individuo para exteriorizar sus representaciones mentales; es decir, para hacerlas visibles o accesibles a los otros. Las representaciones semióticas están subordinadas por entero a las representaciones mentales y cumplen funciones de comunicación.

[1] Escuela Superior de Cómputo del IPN. Av. Juan de Dios Bátiz, s/n Esq. Othón de Mendizabal Col. Lindavista. C.P. 07738 Gustavo A. Madero. México, D.F. 57296000 Ext. 52041. E-mail: elen_fruiz@yahoo.com.mx

[2] Escuela Superior de Cómputo del IPN. 57296000 Ext. 52051. E-mail: [2] ehernandezru@ipn.mx, [3] saga_nueva77@hotmail.com

Sobre la construcción de los conceptos matemáticos, Duval [1], establece que, dado que cada representación es parcial con respecto al concepto que representa, debemos considerar como absolutamente necesaria la interacción entre diferentes representaciones del objeto matemático para su formación.

En lo que respecta al trabajo propiamente de los registros de representación: gráfico, tabular y algebraico, así como la resolución de problemas, tenemos a Hitt, [3] - [6], quien destaca que la *visualización* matemática tiene que ver con el entendimiento de un enunciado y la puesta en marcha de una actividad, que si bien no llevará a la respuesta correcta sí puede conducir al resolutor a profundizar en la situación que se está tratando. Una de las características de esta visualización es el vínculo entre representaciones para la búsqueda de la solución a un problema determinado.

Además, Hitt, [6], señala que la visualización matemática de un problema juega un papel importante, y tiene que ver con entender un enunciado mediante la puesta en juego de diferentes representaciones de la situación en cuestión y ello nos permite realizar una acción que posiblemente puede conducir hacia la solución del problema.

El avance tecnológico ha influido notablemente en el desarrollo de nociones teóricas que son la base para entender el estudio de las diferentes representaciones de los objetos matemáticos y su papel en la construcción de conceptos. Ahora, con la tecnología, es importante el estudio de las diferentes representaciones de los objetos [7] y [8].

Preguntas de Investigación

¿El manejo de simulaciones para trabajar los problemas de optimización, como herramienta y estrategia didáctica, le permiten al profesor organizar su tarea docente y la gestión del aprendizaje de los alumnos, así como la planeación del curso conjugando los temas de estudio y el aspecto didáctico?

¿La detección de los obstáculos que impiden el aprendizaje de los alumnos, como son el rompimiento con modos de pensamiento característicos del funcionamiento algebraico, así como las dificultades ligadas con el lenguaje simbólico y la significación gráfica del concepto, contribuirá a una comprensión del concepto de variación y su utilización en la materia de cálculo y de programación ligadas a la carrera del ingeniero en sistemas?

Metodología

Para la fase documental de la investigación se revisó literatura especializada en los campos de las representaciones semióticas, en el uso de registros de representación, con respecto a la importancia de la tecnología y sobre el concepto de función y optimización.

Se aplicó una entrevista a 4 docentes de una Unidad Académica del IPN que estaban impartiendo la Unidad de Aprendizaje de Cálculo. Se diseño y aplicó un cuestionario a 90 estudiantes que llevaban su curso de Cálculo, cuyos antecedentes los constituyeron los cursos de Álgebra, Trigonometría, Geometría, Geometría Analítica y Cálculo, que llevaron en el nivel medio superior.

Para determinar la profundidad con la que abordan los contenidos y su forma de enseñarlos se revisó el Plan y Programa de estudios de ESCOM [9]. Además se elaboraron las simulaciones de los problemas que habían sido validados y reportados en los proyectos de la Secretaría de Investigación y Posgrado del IPN. [10] y [11].

La orientación metodológica se ubica en una perspectiva cualitativa, lo cual significa que se observaron fundamentalmente los aspectos cualitativos del proceso experimental mediante el uso de instrumentos metodológicos, como el cuestionario y la entrevista.

Para llegar al análisis cualitativo se trabajó primeramente lo cuantitativo mediante el establecimiento de porcentajes de las respuestas dadas por los estudiantes al cuestionario aplicado.

La metodología seguida se llevó a través de las siguientes fases: 1) Selección de los instrumentos metodológicos: entrevista y cuestionario. 2) Aplicación de la entrevista a 4 docentes. 3) Diseño del cuestionario y aplicación a los estudiantes. 4) Análisis de los resultados del cuestionario. 5) Propuesta y aplicación de actividades mediante el uso de simulaciones, empleando la tecnología, como una estrategia que el utilizó el profesor. 6) Revisión de los resultados y conclusiones.

Resultados de las entrevistas

Con base en lo obtenido en la literatura se procede a revisar el trabajo escolar, para ello se realizan entrevistas a 4 maestros que imparten la Unidad de aprendizaje de Cálculo. Los docentes que participaron en la entrevista señalaron lo siguiente:

- En la resolución de problemas de optimización los estudiantes no logran establecer la función con las que les permitirá trabajar y resolver la situación planteada.

- Los estudiantes están muy acostumbrados a usar el criterio de la primera y segunda derivada para encontrar máximos y mínimos pero no logran darle sentido a esta forma de trabajo. Son muy mecánicos.
- Mencionaron que se requiere hacer explícitas las aplicaciones de optimización mediante el uso del lenguaje gráfico.

Cuestionario

El cuestionario que se aplica a los estudiantes se muestra en la Fig. 1.

Instrucciones:
Responda a las preguntas y resuelva el problema, escriba todo el proceso empleado para darle solución.

1. ¿La resolución de problemas motiva tu aprendizaje del Cálculo?, ¿por qué?
2. ¿Al resolver problemas de optimización en qué te basas?, ¿por qué?
3. ¿Al resolver problemas de optimización te apoyas en una gráfica?, ¿por qué?
4. ¿Al resolver problemas de optimización te apoyas en una tabla?, ¿por qué?
5. Resuelva el siguiente problema:
   Un contenedor con forma de un cilindro circular recto sin tapa tiene un área superficial de 3π m^2. ¿Qué altura h y radio de la base r deben maximizar el volumen del cilindro?

Fig. 1. Contiene las preguntas y el problema que se aplicó a la muestra de estudiantes.

Los resultados de las preguntas se concentraron en tablas, en donde se anotaron las respuestas dadas por los estudiantes y después de cuantificarlas se obtuvo un porcentaje.

En la Tabla 1, se muestran las respuestas dadas por los estudiantes a la pregunta 1. ¿La resolución de problemas motiva tu aprendizaje del Cálculo?, ¿por qué?

Tabla 1. Concentración de respuestas a la pregunta 1

Respuesta	Porcentaje
Siempre, porque aplico la teoría	24%
A veces, debido al tipo de problema	44%
Nunca, porque los problemas son muy difíciles	32%

La mayoría de los estudiantes considera que dependiendo del grado de dificultades del problema es que puede aplicar la teoría. Los estudiantes consideran como problemas, tanto aquellos ejercicios meramente algebraicos como aquellas situaciones que se encuentran en un contexto.

En la Tabla 2, se muestran las respuestas dadas por los estudiantes a la pregunta 2: ¿Al resolver problemas de optimización en qué se basa?, ¿por qué?

Tabla 2. Dos criterios usados por los 90 estudiantes para resolver problemas de optimización.

Respuesta	Porcentaje
Usar el criterio de la primera derivada en la función	24%
Usar el criterio de la segunda derivada en la función que saqué	76%

Se observa en la tabla 2, que el 100% de los estudiantes utilizan el registro algebraico para resolver problemas de optimización, ya que el 24 % emplea el criterio de la primera derivada en la expresión algebraica y el 76 % el segundo criterio. Ambos son procedimientos algebraicos. Lo que coincide por lo señalado en Hitt, [3]-[6]. Además consideran a la función únicamente a través de la expresión algebraica, cuando una función se puede representar mediante diferentes registros.

En la Tabla 3, se muestran las respuestas dadas por los estudiantes a la pregunta 3: ¿Al resolver problemas de optimización se apoya en una gráfica y por qué?

Tabla 3. Justificación por la que emplean una gráfica y justificación del no uso de ésta en la resolución de problemas de optimización

Respuesta	Porcentaje
Sí, pero necesito encontrar la expresión algebraica y derivar	6%
No, porque me tardo mucho graficando y no utilizo la gráfica	46%%
No, porque no me ayuda en la resolución del problema	48%

Se observa en la Tabla 3 que sólo el 6 % emplea el registro gráfico, pero únicamente como apoyo, ya que el 100% usa expresiones algebraicas para resolver los problemas de optimización.

Aquí hay otro aspecto que se nota, y es que a los estudiantes no les gusta graficar, además de que no saben interpretar en una gráfica que el punto máximo sería la respuesta al problema de optimización. También se observa que no tienen confianza en lo que pueda decirles la gráfica, ellos se sienten más seguros empleando procedimientos algebraicos

En la Tabla 4 se muestran las respuestas dadas por los estudiantes a la pregunta 4: ¿Al resolver problemas de optimización te apoyas en una tabla?, ¿por qué?

En la misma tabla 4 se aprecia que ningún estudiante emplea el registro de representación tabular y los argumentos que proporcionan es la inseguridad que les produce hacer una tabla para resolver un problema de optimización, además de que el 62% considera que la tabla sólo la utiliza para graficar y se comprueba una vez más que no consideran a la gráfica como una forma de representar una función y menos para determinar la solución al problema de optimización.

En la Tabla 5, se muestran las respuestas dadas por los estudiantes al problema:

Un contenedor con forma de un cilindro circular recto sin tapa tiene un área superficial de 3 πm^2. ¿Qué altura h y radio de la base r deben maximizar el volumen del cilindro?

El 85% de los estudiantes trabajó con el registro algebraico y ningún estudiante empleó el registro tabular o gráfico para resolver el problema.

Se observa que tienen graves dificultades con el registro algebraico, desde no recordar la fórmula del volumen de un cilindro hasta no hacer los despejes de forma correcta, lo que los conduce a no encontrar la expresión algebraica que requieren para usar los criterios de la primera y/o segunda derivada y llegar a la solución correcta del problema. Los resultados de esta experiencia coindicen con lo señalado por Hitt, [2]- [4] y Duval [1].

Propuesta de trabajo mediante simulaciones

En el siguiente apartado, del presente artículo, se hace una propuesta de trabajar los tres registros: gráfico, tabular y algebraico mediante el uso de simulaciones para que el estudiante logre visualizar las situaciones planteadas. En este artículo sólo se muestra una de las simulaciones realizadas.

Se trabajaron varias simulaciones sobre el tema de optimización, en donde los conceptos de variación pueden ser desarrollados. La simulacion de problemas en flash ayuda a entener mejor lo que sucede en aplicaciones reales. [10] y [11].

Tabla 4. Argumentos del por qué no emplean la tabla en la resolución de problemas de optimización.

Respuesta	Porcentaje
Si	0%
No, porque la tabla la uso para graficar y no necesito la gráfica	62%
No, porque la tabla no es segura para obtener un resultado	38%

Tabla 5. Aspectos exclusivamente algebraicos, empleados en la resolución del problema planteado a los 90 estudiantes.

Respuesta	Porcentaje
No hicieron algún intento por resolver el problema, debido a que no se acordaban de la fórmula del volumen del cilindro y no supieron determinar la expresión para derivar	15%
Determinaron la fórmula del volumen del cilindro, pero no supieron qué hacer con ella	32%
Determinaron la fórmula del volumen del cilindro y la del área total del cilindro pero no lograron expresar la función (como expresión algebraica) en términos de una sola variable.	36%
Escribieron en términos de una sola variable la expresión algebraica y derivaron, pero no lograron realizar correctamente las operaciones algebraicas	17%
Resolvieron correctamente el problema derivando y haciendo las operaciones algebraicas correctas	0%

A continuacion se especifica cómo funcionan las simulaciones. Se presenta una primera pantalla como introducción al problema. Como cualquier animación en flash esta se pude maximizar hasta hacerla del tamaño de la pantalla. Inicia al dar clic en el botón Iniciar . Las simulaciones están realizadas en Flash y aquí se presentan dos problemas:

Problema de la Hoja

Se tiene un rectángulo que mide 30cm de base por 10 de altura. Se va a construir una caja rectangular abierta para ello se requieren hacer cortes en las esquinas.

¿Cuál es la medida de los cortes para obtener el mayor volumen?
¿Cuál es el mayor volumen?

En la primera pantalla se da una descripción del problema (ver Fig. 2), y el alumno se dirige a la solución dando clic en el botón Solución. La solución inicia con el planteamiento y desglose de los datos, exponiendo la posibilidad de solución. (ver Fig. 3). El alumno podrá avanzar con Solución o retroceder a la pantalla anterior con Atrás en toda la secuencia de solución.

Las siguientes pantallas representan interacciones con los posibles valores; en el caso que se plantea son 10 iteraciones (ver Figs. 4, 5, 6 y 7). En estas pantallas se presenta la evolución de las iteraciones en los dobleces de la hoja para formar la caja, se emplea como registro de representación la tabla y la gráfica, además de los cálculos correspondientes al sustituir los valores de x en la función volumen.

En la Fig. 4 se muestra la primera iteración, en donde se observa el llenado de la tabla con el valor de x igual a 1, el valor de y igual a 224 cm^3, que corresponde al volumen, como se aprecia en la sustitución de la función del volumen. También el estudiante puede visualizar la gráfica que se empieza a construir con el primer valor dado a x, además de que la imagen de la construcción de la caja muestra que el valor dado a x es el correspondiente al corte o al doblez de las esquinas y lo que pasa cuando se efectúa.

En la Fig. 5 se muestra la cuarta iteración, en donde se observa que cuando x tiene un valor de 4, el volumen disminuye a 176 cm^3, el estudiante puede visualizar que los valores de x e y dados en la tabla afectan a la gráfica ya que decrece.

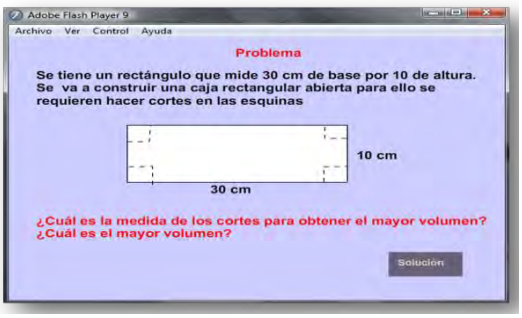


Fig. 2. En donde se muestra la redacción del problema, así como una imagen que contiene datos.

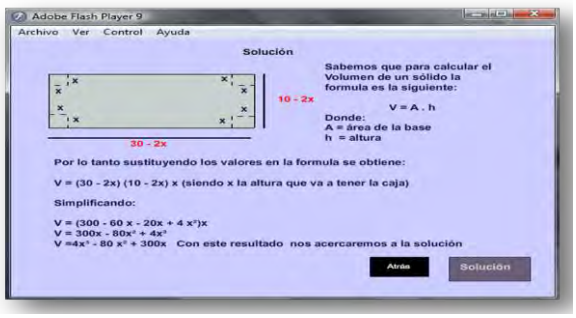


Fig. 3. Deducción de las expresiones algebraicas, extraidas de los datos.

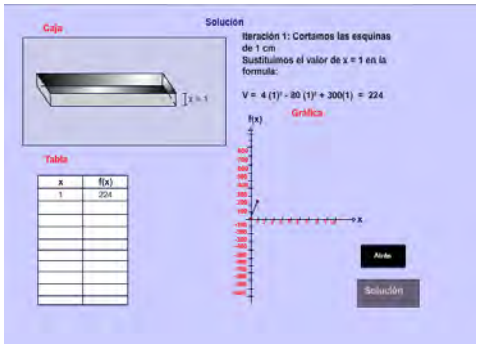


Fig. 4. Primera Iteración en la simulación.

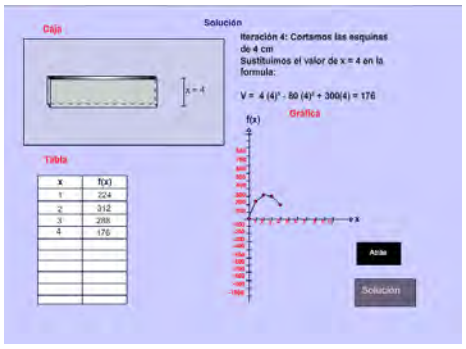


Fig. 5. Cuarta iteración en la simulación.

En la Fig. 6 se muestra que el alumno se percata que cuando *x* toma el valor de 5, es decir cuando el corte de las esquinas es de 5 cm, no se puede construir alguna caja debido a que al hacer el doblez la hoja se dobla a la mitad y no se forma caja. En la tabla el valor de y es cero, lo que se observa en la gráfica ya que el punto está sobre el eje de la X. Al sustituir el valor de *x* en la función, se comprueba algebraicamente que el volumen es cero, es decir no hay volumen porque no se formó la caja.

En la Fig. 7 se percibe que el alumno observa que a partir de valores de *x* superiores a 5, encuentra para *y* valores negativos y en la gráfica se percibe que la función sigue decreciendo ya que los valores de *y* están en la parte de los negativos.

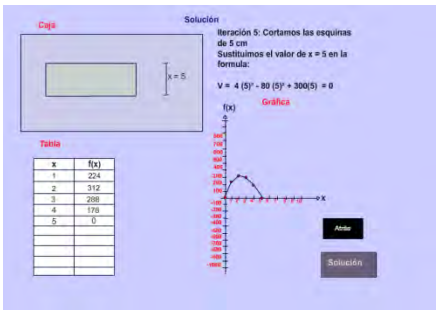


Fig. 6 Quinta iteración en la simulación

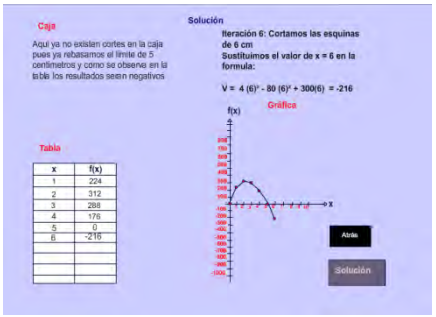


Fig. 7: Sexta iteración en la simulación

Finalmente la última imagen de la simulación del problema de la hoja se muestra en la Fig. 8. El botón Conclusión lleva la última pantalla con los resultados finales del problema y una breve explicación del porque se llegó a esa solución (misma Fig. 8). En esta parte también el alumno podrá regresar a través de toda la solución del problema con el botón Atrás o podrá reiniciar con el botón Reiniciar

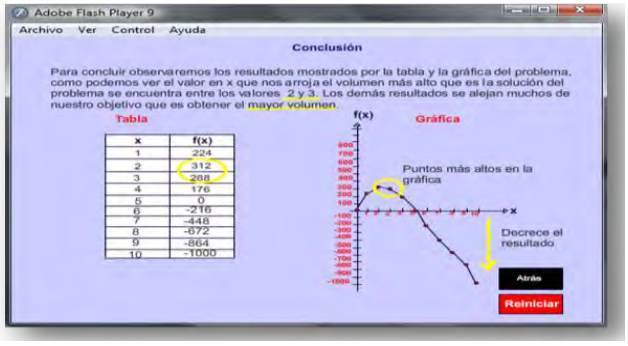


Fig. 8. Se muestra la tabla llena con los datos obtenidos, así como el punto máximo en la gráfica.

Resultados y reflexiones

Después de que los docentes de la muestra trabajaron con las simulaciones señalaron lo siguiente:

- Se puede observar la relación que hay entre el registro gráfico, tabular y analítico algebraico.
- Mencionaron que hubo una mejora al resolver problemas de optimización.
- Comentan que el uso de la tecnología mediante el diseño de simulaciones permite modificar sus clases y adoptar otras estrategias de enseñanza.

Estrategias de enseñanza que sugieren adoptar los docentes de la muestra

Los 4 maestros que trabajaron con la propuesta de las simulaciones mencionaron que el alumno necesita resolver problemas en contexto para que pueda comparar, clasificar, identificar, inferir, transferir, demostrar, argumentar, además de que se requiere usar material visual como las simulaciones ya que permiten la participación del estudiante y la discusión grupal.

Respuestas dadas por los alumnos a las preguntas formuladas y después de usar las simulaciones.

El 78% de los estudiantes consideró que los problemas que resolvió usando los tres registros de representación le permitieron dar sentido a lo que estaban resolviendo. El 87 % señaló que las gráficas permiten ver que las funciones tienen máximos y mínimos y reconocieron que esos puntos representan, en la solución del problema, los valores solicitados.

Respuestas a las preguntas de investigación

En relación a la primera pregunta se tiene que el uso de simulaciones basadas en problemas en contexto le permitió al docente tener un panorama alternativo y el considerar la planeación en clase como fundamental.
El uso de otras estrategias de aprendizaje tiene como meta principal provocar procesos de reflexión sobre la práctica, convirtiéndolos en procesos sistemáticos, así como promover la incorporación de conceptos provenientes de la Didáctica de las Disciplinas Específicas, con la finalidad de mejorar la calidad de la enseñanza impartida.

La modalidad de trabajo se basa en lo siguiente: determinación del problema de aula, diseño de las acciones didácticas, preparación de materiales, aplicación y observación, análisis y visualización de conflictos.

Los docentes de la muestra se suscriben a la idea de desarrollar variadas y múltiples acciones didácticas con el fin de promover aprendizajes con un mayor grado de significación. El eclecticismo metodológico propuesto permite formular diversas acciones de acuerdo a las necesidades de cada grupo de trabajo.

Con respecto a la segunda pregunta se encontró que uno de los obstáculos que impiden el aprendizaje de los alumnos es el escaso empleo de estrategias de aprendizaje.

Mediante el uso de problemas en contexto y apoyados en la tecnología, en este caso en las simulaciones, los docentes logran darse cuenta de que hay varias estrategias de aprendizaje para el alumno, de tal forma que mediante la detección de ellas se abre un abanico de posibilidades para que el estudiante le de sentido a lo que trabaja y deje de ser mecánico al usar solamente fórmulas.

Conclusiones

En general la forma de enseñar en el nivel medio superior y superior, es a través de exposición de teoría, procedimientos algorítmicos, resolución de ejercicios, así como problemas, algunas prácticas con calculadora graficadora, algunas verificaciones, sin llegar a las demostraciones, también en la medida en que el profesor considere que los estudiantes requieren de estas tareas.

El enfoque epistemológico (conocimiento disciplinario) del curso, debiera permitir la integración de los aprendizajes previos, estructurados en los semestres llevados en el nivel medio superior y el superior, para que desde este nivel educativo sean recuperados, con el fin de abordar de manera significativa el concepto de variación, con sus diferentes técnicas, procedimientos y aplicaciones a un nivel de profundidad conceptual, que permitan el planteamiento y la resolución de problemas en contexto, que involucren a las funciones algebraicas como trascendentes, así como las derivadas de dichas funciones.

El ingeniero diseña y construye, por ello en sus inicios los dibujos, las gráficas, los diagramas eran un recurso inherente a su tarea, debemos rescatar la geometría dentro de la formación de ingeniero, para que el nivel de visualización que alcance le permita un ágil desarrollo de proyectos.

Reconocimientos

La autora Elena Fabiola Ruiz Ledesma agradece a la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional por el apoyo económico brindado para la realización de los proyectos Con número de registros: 200100368 y 20110343.

Referencias

[1] Duval R. (1993) Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de Didactique et de Science Cognitives* 5(1993) 37-65. Traducción: Registros de representación semiótica y funcionamiento cognitivo del pensamiento. En *Investigaciones en Matemática Educativa II* (Editor F. Hitt). Grupo Editorial Iberoamérica.

[2] Hitt Espinosa F. *The role of the external representations in the constructions of mathematical concepts.* Primera Edición. 2003. L'educazione Matematica. Italia. (180 páginas)

[3] Hitt Espinosa F. Representations and Mathematics Visualization. *International Group for the Psychology of Mathematics Education North American Chapter Vol 3 (1)* 2002a, julio 18. Cinvestav-*IPN*. México. (pp.14-19)

[4] Hitt Espinosa F. *Funciones en Contexto*. México: Primera edición. 2002b. Pearson Educación (Prentice Hall).

[5] Hitt F. Difficulties in the Articulation of Different Representations Linked to the Concept of Function. *Journal of Mathematical Behavior, 17* (1), 2009, 123-134.

[6] Hitt F Sistemas semióticos de representación del concepto de función y su relación con problemas epistemológicos y didácticos. En F. Hitt (Editor), *Investigaciones en Educación Matemática* Grupo Editorial Iberoamérica, México. Vol. I. 2010, 245-264.

[7] Cuadra, D. Maqueda, A. I. Castro, E. Férnandez, P.M. Educational Experiences Detecting, Using, and Representing Ternary Relationships in Database Design Education, IEEE Transactions on. Vol. 53 Issue 3, 2010, 358 – 364.

[8] Precup, R.-E. Preitl, S. Radac, M.-B. Petriu, E. M. Dragos, C.-A. Tar, J. K Experiment-Based Teaching in Advanced Control Engineering Education, IEEE Transactions on Vol. 54 Issue 3, 2011, 345 – 355

[9] Plan y Programa de Estudios Cálculo Aplicado 2009 ESCOM. IPN.

[10] Ruiz, E. F. *Estrategias Didácticas en la enseñanza del Cálculo Diferencial e Integral en Ingeniería*. Reporte técnico de proyecto de investigación registrado en la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP), del IPN con núm. de registro CGPI 20100398, México, 2010, IPN.

[11] Ruiz, E. F. *Indicadores teóricos para la Constricción de Conceptos del Cálculo Diferencial*. Proyecto de investigación registrado en la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP), del IPN con núm. de registro CGPI 20110343, México, IPN. 2011.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 43. Volumen 4(6), 5 páginas.

ESTUDIO DE PLATAFORMAS DIDÁCTICAS PARA LA ENSEÑANZA DE CÓMPUTO MÓVIL

Gerardo Muñoz Estrada[1], Julio César Sosa Savedra[2], Víctor Hugo García Ortega[3], Rubén Hernández Tovar[4]

Resumen

En este trabajo se hace un estudio de diferentes plataformas empleadas para la enseñanza de sistemas digitales. El objetivo del trabajo es buscar la mejor alternativa, desde un punto de vista didáctico, para la impartición del curso de Arquitectura de Cómputo Móvil o en su caso proponer la elaboración de una tarjeta didáctica. El curso es impartido en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI) de la ESCOM-IPN. En el estudio se da una prioridad a que las tarjetas posean en el módulo HMI (Interfaz Hombre Máquina), la tecnología de pantalla táctil y además tecnología reconfigurable.
Palabras clave: Cómputo móvil, plataformas didácticas, tarjetas de desarrollo.

Summary

This paper presents a study of different platforms used for the teaching of digital systems. The study aims to find the best alternative from a didactic point of view, for the teaching of the course Mobile Computing Architecture or possibly proposing to develop an educational board. The course is taught in the Department of Postgraduate Studies and Research (SEPI) of ESCOM-IPN. The study gives priority to the boards with the touch screen technology in the HMI (Human Machine Interface) module and reconfigurable technology.
Keywords: Mobile Computing, Teaching Platforms, Development boards.

Introducción

Actualmente en la impartición de cursos de diseño de sistemas digitales se emplean tarjetas de desarrollo que hacen uso de un FPGA (*Field Programmable Gate Array*) [1],[3]-[6]. Sin embargo, la mayoría no está diseñada para la impartición específica de cursos de cómputo móvil. Si bien existen algunas plataformas, para el desarrollo de proyectos de diseño digital, éstas están enfocadas a la enseñanza de arquitectura de computadoras. Por tal razón muchas tarjetas de desarrollo carecen de herramientas didácticas, para el propósito aquí deseado, como es la interfaz hombre máquina o HMI (Human Machine Interface).

Recientemente el diseño de arquitecturas orientadas a aplicaciones móviles ha aumentado considerablemente [2] y dichas arquitecturas se caracteriza por integrar en un solo chip diferentes módulos de hardware, conocidos como sistemas en un chip o SoC (por *System on a Chip*) [3]. La integración de este tipo de sistemas resulta importante porque la cantidad de circuitos que se utilizaban anteriormente se ve reducida al uso de un solo chip. Así mismo, surgen también los sistemas programables en un chip o SoPC (por *System on a Programmable Chip*) [4]. A diferencia de los SoC, estos últimos se pueden programar de acuerdo a los requerimientos de la aplicación, lo cual permite que el sistema pueda ser reconfigurable y reprogramable, esta última cualidad es muy apreciada en la enseñanza.

Por lo antes expuesto, en este trabajo se plantea hacer un estudio minucioso de las diferentes plataformas empleadas en cursos de diseño digital, sistemas digitales o cursos relacionados. Una vez hecho el análisis se seleccionará, si resulta el caso, la tarjeta que cubra con las características adecuadas para generar material de apoyo y didáctico para la impartición del curso. En otro caso, si no cubre con las características necesarias se propondrá el diseño de una tarjeta didáctica. Todo esto cumpliendo con las necesidades del curso de Arquitectura de Cómputo Móvil que se imparte en la SEPI de la ESCOM-IPN.

[1,2,3,4] Escuela Superior de Cómputo – IPN. Av. Juan de Dios Bátiz s/n Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Col. Lindavista, C.P. 07738, México D.F. Telefóno (55)5729-6000. E-mails: [1] me.gerardo@gmail.com, [2] vgarciao@ipn.mx, [3] rhtovar@ipn.mx, [4] jcsosa@ipn.mx

Desarrollo

Existe una gran cantidad de tarjetas de desarrollo con diferentes usos y/o aplicaciones, una página que aglutina a estas puede ser (http://www.fpga-faq.com/FPGA_Boards.shtml). Sin embargo la mayoría de las tarjetas poseen FPGA's principalmente de dos fabricantes, Altera y Xilinx. En este trabajo se van a abordar las tarjetas que más se apeguen al curso en que serán empleadas.

En [1] presentan dos tarjetas utilizadas en cursos de diseño digital en la Tallinn University Technology. Las tarjetas empleadas son de distintos fabricante de FPFA, la Spartan-3E Starter Kit de Xilinx y la UP3 Education Kit de Altera, esta última se muestra en la Fig. 1. Ambas tarjetas cuentan con un FPGA, puertos RS-232 y PS/2, dispositivos de memoria, LED's, interruptores, configuración JTAG, LCD 2x16 y otros periféricos; además tienen puertos de expansión para permitir al usuario que emplee otro tipo de periférico. Sin embargo no cuentan con una interfaz HMI integrada ya que en los ejercicios de laboratorio presentados en [1], tanto básicos como avanzados, se usan solamente los periféricos integrados en las tarjetas y no hay necesidad de agregar más ya que estas tarjetas cubren los contenidos del curso ya mencionado.

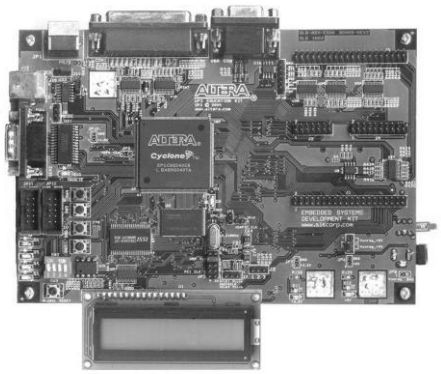


Fig. 1. Tarjeta educativa UP3 de Altera

En otras instituciones, como en el Instituto Tecnológico de Georgia presentan en [4], el empleo de otras tarjetas de desarrollo como la Nios board, de Altera. La tarjeta contiene un FPGA de 200,000 compuertas lógicas, memoria Flash, SRAM, botones, LED's y soporta un *soft-core* RISC proporcionado por el mismo fabricante.

La otra tarjeta empleada, es la Digilab 2E, de Digilent, que se muestra en la Fig. 2. La tarjeta posee la FPGA Spartan-IIE de Xilinx, la cual contiene 200,000 compuertas y soporta el *soft-core* MicroBlaze de Xilinx.

Como se puede observar en la Fig. 2, la tarjeta no posee elementos interconectados externamente al FPGA, lo cual limita su funcionalidad pero a su vez reduce el costo.

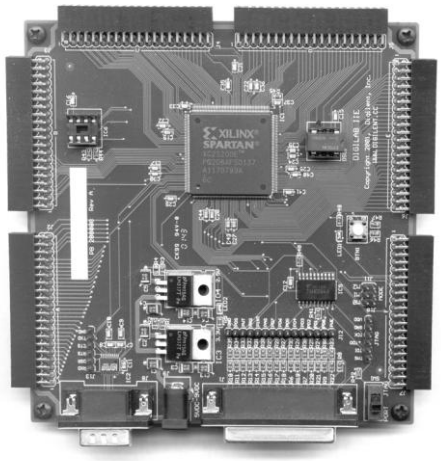


Fig. 2. Tarjeta Digilab 2E

Ambas tarjetas, la Nios Board y la Digilab 2E, tienen puertos de expansión tanto para agregar dispositivos específicos como para acoplar otras tarjetas. Las tarjetas que se acoplan a la tarjeta principal son conocidas como *daughter boards*, y su propósito es ampliar la funcionalidad de la tarjeta principal.

Con dicha característica es posible agregar una pantalla táctil que trabaje bajo protocolo RS-232 ya que ambas tarjetas cuentan con este estándar.

Es importante mencionar que los FPGA's han sido usados satisfactoriamente en las aulas para estudiar: el diseño de los sistemas en un chip programable (SoPC), el diseño en conjunto de hardware y software usando *cores* de propiedad intelectual (IP), la arquitectura de computadoras y la implementación en hardware del procesamiento digital de señal [3], [5].

En [4] se presenta una serie de ejercicios para realizar en el laboratorio en los cuales se enfatiza en el uso de lenguajes de descripción de hardware (VHDL o Verilog), en el desarrollo de máquinas de estado y en prácticas de diseño digital. Es importante mencionar que dicho trabajo está pensado sólo para ser utilizado en cursos introductorios. En los proyectos elaborados en [6] enfocados a trabajar con SoPC se utiliza la UP3 Education Kit de Altera, que es una de las tarjetas usadas en [1], [4] y [6], de la cual se han mencionado ya sus características.

La tarjeta Nios II Development Kit, Stratix II Edition se usa en [4] para trabajar con aplicaciones de procesamiento digital de señal en tiempo real; se agrega una *daughter board* USB, como se muestra en la Fig. 3, debido a que no cuenta con ese periférico para comunicación. El FPGA de esta tarjeta es el Stratix II EP2S60F672C3.

En el Instituto Tecnológico de Georgia, en la carrera de Ingeniería Eléctrica y Computación, se trabaja en el desarrollo de prácticas laboratorio con SoPC [5] y usan las mismas tarjetas que en [1].

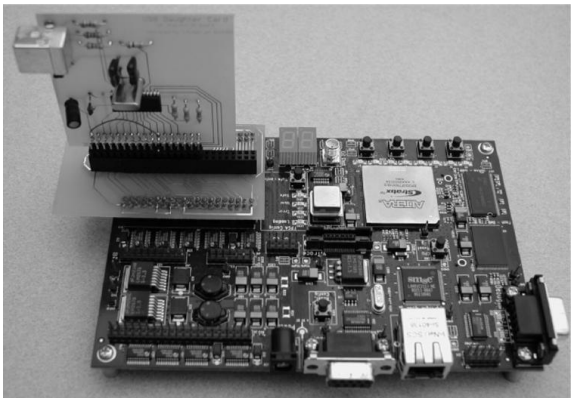


Fig. 3 Tarjeta de desarrollo Nios II y la tarjeta secundaria USB incrustada.

En [7] se diseñó una tarjeta capaz de soportar los distintos tipos de microcontroladores que se usan en el curso de diseños de sistemas embebidos en el departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad Politécnica de Bucharest, Rumania; los 3 tipos diferentes de dispositivos son el ATMega128, PIC16F876 y MSP430, como se muestran en la Fig. 4. Cada microcontrolador está montado en una *daughter board*, la cual se integra a la tarjeta principal.

La tarjeta diseñada en [7] contiene los periféricos requeridos para cubrir el contenido del curso ya mencionado y son. Interfaz RS-232 y USB, puertos de salida, salidas y entradas analógicas, relevadores, LED's, teclado y un LCD alfanumérico y es claro que no cuenta con una interfaz HMI.

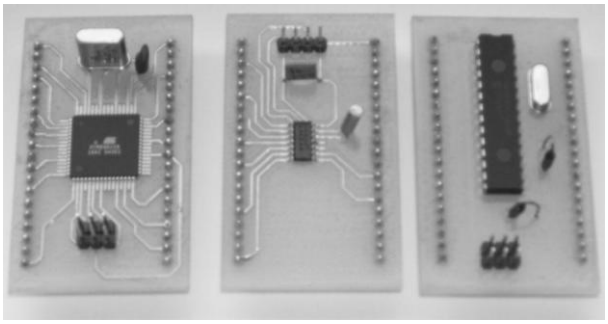


Fig. 4. Las daughter boards soportadas por la tarjeta principal.

Pero existen trabajos que hacen uso de una HMI [8], [9], [10]. Se ha trabajado con una HMI para el control de un proceso dinámico usando una FPGA y mostrando los parámetros en una pantalla táctil. En [8] se considera una pantalla táctil que sirve para mostrar el estado de ciertas variables y brinda la posibilidad de ser usada para insertar parámetros de control en un proceso. Se trabaja con el *touch panel Magelis XBTG6330* de Telemecanique, que contiene puertos de comunicación Ethernet, RS232C, RS485 y tiene puerto de expansión para memoria. Dicho panel está pensado para su uso en sistemas SCADA (Control de Supervisión y Adquisición de Datos). En el sistema se realiza la visualización y control de variables de altura de vuelo de un avión y control de nivel de combustible.

Terasic Technologies comercializa una tarjeta de desarrollo, la tPad Multimedia Development Kit [9], la tarjeta combina un LCD *touch panel* y una cámara, se indica que es una plataforma ideal para aplicaciones multimedia. El costo de esta plataforma es de 795 USD, y aunque es posible emplearla como HMI será necesario realizar un estudio y su adecuación para dicho propósito. Esto es, desarrollar las aplicaciones convenientes para las prácticas o pruebas necesarias.

La diferencia entre [8], [9] es que están aplicados en campos diferentes, en el caso de [8] está pensado para una aplicación de control, mientras que [8] es una tarjeta de desarrollo para aplicaciones multimedia. El objetivo de este estudio es conocer las plataformas que están enfocadas directamente a la enseñanza en arquitecturas de dispositivos móviles.

En [9] se usa una pantalla táctil para un sistema auto enfoque basado en FPGA, el sistema usa una pantalla resistiva de 4 hilos en combinación con una tarjeta Spartan3 XC3S5000 de Xilinx, el FPGA es programado en VHDL.

Al igual que en [10] en [11] se trabaja en un sistema para el control de una cámara digital basado en FPGA y usando un *LCD touch panel*, este sistema captura y procesa en tiempo real la imagen. Para la implementación de este sistema se usó la tarjeta de desarrollo DE2 de Altera, la cámara TRDB-D5M y el módulo táctil LCD TRDB-LTM ambos de Terasic.

Las *daughter board* se conectan a los puertos de expansión de la tarjeta DE2, Fig. 5, que tiene integrado el FPGA Cyclone II EP2C35, dicho FPGA tiene 33216 elementos lógicos, 483840 bits de memoria, 70 multiplicadores embebidos y 4 PLL. El lenguaje de descripción de hardware usado en [11] es Verilog HDL.

En la Tabla 1 se muestra la comparativa entre las distintas tarjetas empleadas en diferentes cursos impartidos en diversas universidades, previamente citadas.

Conclusión

El uso de tarjetas de desarrollo FPGA ha jugado un papel protagónico en los últimos años en distintas universidades alrededor del mundo, como se ha observado en este estudio cada programa académico requiere de distintos recursos de acuerdo a los contenidos de cada programa que se estudia.

Para el curso de Arquitectura de dispositivos móviles la tarjeta que más se aproxima a lo que se pretende trabajar, que es el módulo HMI con pantalla táctil, es la tarjeta DE2, debido a que los periféricos con que cuenta, los que se le pueden agregar como es el caso de una cámara y una pantalla táctil, además de los recursos del FPGA Cyclone II resultarían adecuados para tal fin.

Fig. 5. DE2, TRDB-D5M y TRDB-LTM integrados

Tabla 1. Tarjetas usadas en distintas universidades

Tarjeta	*Fabricante*	*FPGA*	*Puertos de comunicación*	*Pantalla touch LCD*
Spartan-3E Starter Kit Board [1]	Xilinx	Spartan 3E XC3S500E-4FG320C	RS232, VGA y PS/2	no
UP3 Education Kit Board [1],[4],[6]	Altera	Cyclone EP1C6Q240	RS232 y PS/2	no
Nios board [3]	Altera	Stratix II EP2S60	RS232	no
Digilab 2E [3]	Digilent	Spartan 2E XC2S200E-PQ208	RS232	no
Nios II Development Kit [5]	Altera	Startix II EP2S60	RS232	no
tPad Multimedia Development Kit [8]	terasic	Cyclone IV	Gigabit Ethernet, USB, RS232, VGA y PS/2	si
Spartan3 [9]	Xilinx	Spartan XC3S5000	RS232, VGA y PS/2	no
Altera DE2 [10]	terasic	Cyclone II EP2C35	Gigabit Ethernet, USB, RS232, VGA y PS/2	no

Se descarta la posibilidad de diseñar y construir la tarjeta ya que el tiempo y recursos para su desarrollo serían demasiados. En cuestión de tiempo tomaría más de 1 año el diseño y a eso se le sumaría el tiempo de pruebas, aproximadamente 6 meses, para finalmente llevar a cabo la implantación.

Los recursos necesarios para la construcción de la misma y de los cuales se carece son los de la fabricación del circuito impreso (PCB) y las herramientas para soldadura de componentes de montaje superficial.

REFERENCIAS

[1] D. Mihhailov, M. Kruss and A. Sudnitson, "FPGA Platform Based Digital Design Education", *International Conference on Computer Systems and Technologies – CompSysTech'08,* 2008, pp. IV.4-1- IV.4-6.

[2] M. A. Vallejo and J. E. Aedo, "Estudio cualitativo de arquitecturas orientadas a computación móvil", *Sistemas & telemática* , *Universidad ICESI, 2005*, pp. 81-99

[3] T. S. Hall and J. O. Hamblen, "System-on-a-Programmable-Chip Development Platforms in the Classroom", *IEEE Transactions on Education*, vol. 47, no. 4, Noviembre 2004.

[4] T. S. Hall and J. O. Hamblen, "Using FPGAs to Simulate and Implement Digital Design Systems in the Classroom", *ASEE Southeast Section Conference,* 2006.

[5] T. S. Hall and D. V. Anderson, "A framework for teaching real-time digital signal processing with fiel programable gate arrays", *IEEE Transactions on Education, vol. 48, no. 3,* Agosto 2005.

[6] J. O. Hamblen, "Using Second Generation SOPC Boards for Students Design Projects", *IEEE International Conference on Microelectronic System Education (MSE'05)*, 2005.

[7] A. Drumea, P. Svasta and A. Vasile, "Universal Development Board for Education in Embedded Systems", *IEE Education and information technology in electronics technology*, 2008.

[8] L. Ludwiczak, J. Rozek and J. Pochmara, "HMI solution for controlling dynamic process with FPGA", *15th. International conference on mixed design of integrated circuits and Systems*, Junio 2008.

[9] terasIC Technologies Inc., "tPad Multimedia Development Kit" [Online]. http://www.terasic.com.tw/cgibin/page/archive.pl?Language=English&CategoryNo=139&No=550

[10] S. J. Lee, S. H. Jin and J. W. Jeon, "FPGA based Auto Focus System using Touch Screen", *Proceedings of IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, August 2008.

[11] M. Petouris, A. Kalantzopoulos and E. Zigouris, "An FPGA-based Digital Camera System Controlled from an LCD Touch Panel"

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 62. Volumen 4(6), 5 páginas.

CIRCUITO ENTRENADOR PARA EL APRENDIZAJE DE FUNDAMENTOS DE DISEÑO DIGITAL

Julio César Sosa Savedra[1], Victor Hugo García Ortega[1], Gerardo Muños Estrada[1] y Rubén Hernández Tovar[2].

Resumen

En la última década se ha experimentado un gran interés en el cómputo reconfigurable. Este gran interés fue impulsado por los dispositivos lógicos programables (PLD's) que facilita, en gran medida, el diseño digital. El laboratorio empleado, para impartir las unidades de aprendizaje de diseño digital, posee herramientas CAD-EDA, que si bien en estos días son económicas no lo son para un estudiante. El estudiante usualmente requiere dichas herramientas continuamente. Sin embargo las tarjetas de desarrollo, las licencias del software disponible y el tiempo disponible del laboratorio o las facilidades de préstamo de las tarjetas hacen que el estudiante tenga dificultades para ejercitar su trabajo y/o probar sus ideas. En este trabajo se presenta un circuito entrenador para el empleo de los SPLD's en la enseñanza-aprendizaje de la asignatura de Fundamentos de Diseño Digital, impartidas en la Escuela Superior de Cómputo, del IPN. El circuito entrenador poseerá los elementos básicos para realizar las prácticas del laboratorio de dicha asignatura.
Palabras clave: CAD-EDA, Diseño digital, SPLD.

Summary

In the last decade there has been a great interest in reconfigurable computing. This interest was driven by programmable logic devices (or PLD's) that facilitate digital design. The laboratory used to teach the digital design course, used CAD-EDA tools, which although these days are cheap are not for a student. The student usually requires these tools continuously. However, the development boards, software licenses available and the time available laboratory or the borrowing of the boards, make the student has difficulty in exercising their work and / or test their ideas. This paper presents a circuit training for the SPLD's employment in teaching and learning of the course Fundamentals of Digital Design, taught in the School of Computing, the IPN. The circuit training will possess the basic elements for laboratory practices of the course.
Key words: CAD-EDA, Digital Design, SPLD.

Introducción

El continuo avance tecnológico ha permitido desarrollar sistemas cada vez más complejos, obligando así a desarrollar y emplear Herramientas de Diseño Asistido por Computadora y Automatización de Diseño Electrónico (también llamadas herramientas CAD- EDA). Las herramientas CAD-EDA están constituidas por el software y hardware necesario para el desarrollo e implementación de los sistemas digitales [1]. Dentro del hardware están los dispositivos lógicos programables (PLD's), los cuales están en constante evolución, creándose nuevas familias de dispositivos [2].

Existen distintos tipos de PLD's, como son: PLD's simples (SPLD's), PLD's complejos (CPLD's) o FPGA's. Estos últimos dispositivos, además de tener gran número de elementos lógicos, poseen una gran cantidad de memoria y otros componentes, como DSP's y multiplicadores, embebidos en el mismo encapsulado [3]. De esta manera el uso de los PLD's son empleados en muchas unidades de aprendizaje, en los nuevos planes de estudio [4], como son: arquitectura de computadores, microprocesadores, microcontroladores, sistemas embebidos, fundamentos de diseño digital, electrónica digital, etc.

[1] Escuela Superior de Cómputo-IPN, Av. Av. Juan de Dios Batíz, s/n. México, D.F., 07738. México. Tel. 55 57296000 Ext. 52064. E-mails: jcsosa@ipn.mx, vgarciao@ipn.mx y me.gerardo@gmail.com.

[2] Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas-IPN, Av. IPN 2580, Col. Barrio La Laguna, Ticoman, México, D.F., 07340. México. E-mail: rhtovar@ipn.mx

Existen varios inconvenientes en el empleo de FPGA's, respecto al uso de SLD's y/o CPLD's, dentro de los cursos básicos de diseño digital: 1) el estudiante desconoce por completo dicha tecnología, por lo que es recomendable iniciar con un dispositivo que posea una arquitectura simple y en unidades de aprendizaje avanzadas introducir los dispositivos más complejos. 2) para aplicaciones o prácticas simples los encapsulados en doble línea sólo están disponibles en SPLD's. 3) el costo por el daño del dispositivo es mucho mayor, no por el costo unitario del FPGA si no por que regularmente el dispositivo viene soldado en una tarjeta de desarrollo y no es desmontable para su sustitución. 4) las tarjetas de desarrollo regularmente poseen FPGA's de última generación, ello provoca que el estudiante no emplee técnicas eficientes en la descripción del circuito debido a que posee un dispositivo muy robusto. 5) dependiendo la experiencia del docente es posible que con el empleo de las tarjetas de desarrollo, en los cursos básicos, se pierda cierto conocimiento del proceso de diseño de sistemas, como: la elección de componentes, el diseño del circuito, su implantación, programación, etc.

Muchas universidades emplean tarjetas de desarrollo en la impartición de sus cursos. Las tarjetas de desarrollo poseen generalmente un FPGA como componente principal, como se muestra en la Tabla1.

Si bien es común que muchos laboratorios posean tarjetas de desarrollo para impartir las unidades de aprendizaje de diseño digital, y los costos de las mismas sean relativamente económicos no lo son para un estudiante. El estudiante usualmente requiere dichas herramientas continuamente, sin embargo las tarjetas de desarrollo, las licencias del software disponible y el tiempo disponible del laboratorio hacen que el estudiante tenga dificultades para ejercitar su trabajo y/o probar sus ideas.

En este trabajo se propone un circuito entrenador para el aprendizaje del curso de Fundamentos de diseño digital, impartido en la carrera de Ingeniero en Sistemas Computacionales, en la Escuela Superior de Cómputo del IPN. Adicionalmente se indican las prácticas a implementar y los conceptos teóricos que el estudiante deberá asimilar en cada una de las prácticas de laboratorio.

La unidad de aprendizaje: Fundamentos de diseño digital

El Modelo Educativo Institucional (MEI), del Instituto Politécnico Nacional, establece la necesidad de orientar un cambio hacia nuevas estructuras y hacia una nueva cultura organizacional, de manera tal que se logre incrementar sustancialmente, la calidad de los procesos de generación, transmisión y difusión del conocimiento científico y tecnológico [9]. Para ello se propone que el MEI tendría como característica principal orientar la formación basada en el aprendizaje. De esta manera la Escuela Superior de Cómputo del IPN recientemente realizó la reestructuración de su plan de estudios, basados en competencia.

Para adquirir la competencia de diseño de sistemas digitales embebidos es necesario cursar 5 unidades de aprendizaje (U. A.), en los distintos niveles que conforma el plan de estudios. Estas U. A. son: Matemáticas discretas, Fundamento de diseño digital, Diseño de sistemas digitales, Arquitectura de computadoras y Microcontroladores. A excepción de la U. A., Matemáticas discretas, el resto son impartidas por la academia de Sistemas Digitales. La primera de ellas, Fundamentos de diseño digital, es la que homogeniza el conocimiento de electrónica digital puesto que los estudiantes proceden de distintos institutos de nivel medio superior como son: preparatorias, bachilleratos, centros de estudios científicos y tecnológicos, Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica, Centro de Bachillerato Tecnológico industrial y de servicios, entre otros.

Debido a la heterogeneidad de los estudiantes es muy importante establecer las competencias necesarias y cumplir cabalmente con el propósito de la misma, para ello se propone la realización de las siguientes prácticas de laboratorio:

Práctica 1. Empleo de las herramientas CAD-EDA.

Practica 2. Simplificación de funciones lógicas y tecnologías de implantación (TTL vs. GAL).

Práctica 3. Estilos de descripción de hardware.

Práctica 4. Circuito sumador restador.

Práctica 5. Circuito comparador.

Tabla 1. Tarjetas de desarrollo empleadas en algunas universidades.

Fabricante	Modelo	FPGA	Precio (US$)
ALTERA [5]	DE2 Development & Education Board	Cyclone II EP2C35	495.00
	Cyclone III FPGA Development Kit	Cyclone III 3C120N	995.00
	Arria II GX FPGA Development Kit	Arria II GX EP2AGX125N	1495.00
XILINX [6]	Spartan 3E starter kit	FPGA Spartan3EXC3S500E-4FG320	149.00
	HW-AFX-FG456-200	FPGA Virtex-II in FG456 package	899.00
Docentes	[7]	FPGA XC2S15 de Xilinx	*
Docentes	[8]	Basada en las familias de FPGAs Xilinx, VIRTEX y VIRTEX-E	*

Práctica 6. Circuitos multiplexor y demultiplexor.
Práctica 7. Circuito decodificador.
Práctica 8. Circuito codificador de BCD a 7 segmentos.
Práctica 9. Multivibradores biestable con reset.
Práctica 10. Multivibradores monoestable.

El desarrollo de cada una de las prácticas se realiza en el laboratorio de sistemas digitales. Antes de cada práctica es necesario que el estudiante haya comprendido correctamente los conceptos teóricos para que puede éste descubrir propuestas de solución al problema de la práctica.

Circuito entrenador

El circuito entrenador aquí propuesto es una alternativa para agilizar el proceso de prueba de las prácticas, sin que se pierdan las habilidades y el conocimiento de la interconexión de los componentes, alimentación de cada uno de los dispositivos que intervienen en el circuito así como la configuración de los mismos.

Básicamente el circuito entrenador esta compuesto por 11 interruptores para introducir entradas, una barra de 10 LED's, un display de 7 segmentos y la base para insertar la GAL 22V10, como se muestra en la Fig. 1. Con dicho circuito es posible realizar la prueba del total de las prácticas aquí propuestas.

Cada uno de los 10 interruptores, que son para incorporar las señales de entrada, tienen una resistencia en configuración pull-up. El onceavo interruptor será utilizado como entrada de reset por tal razón deberá tener una configuración para proporcionar una entrada en bajo, cuando sea activado. La barra de LED posee de la misma forma una resistencia a tierra para la configuración de cada uno de los LED's que la conforman. El display de 7 segmentos, debido a que es de ánodo común, se deberán interconectar sus entradas comunes a Vcc y para excitar el mismo deberá hacerse con un nivel bajo (cero). Finalmente la base, en la cual ira montado la GAL22V10 deberá estar polarizada correctamente, esto es: la terminal 12 a tierra y la terminal 24 a Vcc.

Empleo del circuito entrenador

Para el empleo del circuito se propone realizar la práctica 2, titulada "Simplificación de funciones lógicas y tecnologías de implantación (TTL vs. GAL)". El objetivo de la práctica es: implementar un circuito que cumpla con la tabla de verdad mostrada en la Fig. 2a., mediante el uso de lógica discreta TTL y dispositivos lógicos programables simples para evaluar las tecnologías de implantación.

De la tabla de verdad se obtiene la ecuación como se observa en la Fig. 2b. La ecuación es reducida por álgebra de Boole, pero también se hace por mapas de Karnaugh, obteniendo la función *sal=sel' a + sel b*. Al implementar el circuito empleando lógica discreta TTL, tenemos el circuito mostrado en la Fig. 3.

Podemos observar que son necesarios 3 circuitos integrados además de la lógica necesaria para ingresar y visualizar los datos, esto es los 3 interruptores para *Sel*, *a* y *b* y el LED para la salida *Sal*, que en este caso es *F(Sel, a, b)*. Una vez hecho este proceso se realiza la descripción en hardware empleando un editor y compilador que soporte algún lenguaje de descripción de hardware. En este caso se empleo el lenguaje de descripción de hardware VHDL, de esta manera obtenemos el código mostrado en la Fig. 4. Como puede observarse se presentan dos formas de cómo se puede describir el circuito.

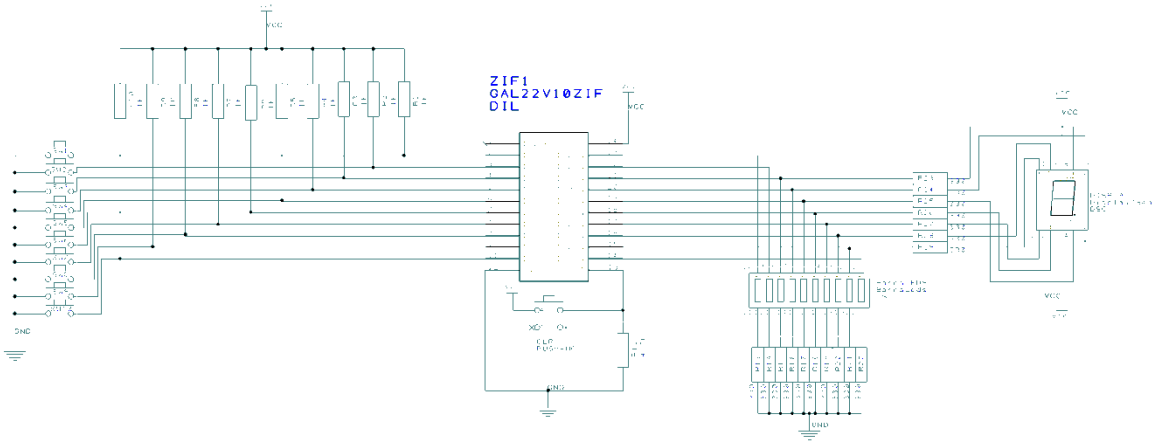


Fig. 1. Circuito entrenador.

ENTRADAS			SALIDA
Sel	a	b	Sal
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

a)

$$Sal = Sel' a b' + Sel' a b + Sel a' b + Sel a b$$
$$= Sel' a (b' + b) + Sel\ b (a' + a)$$
$$= Sel' a + Sel\ b$$

b)

Fig. 2. a) Tabla de verdad del circuito propuesto, y b) ecuación de salida.

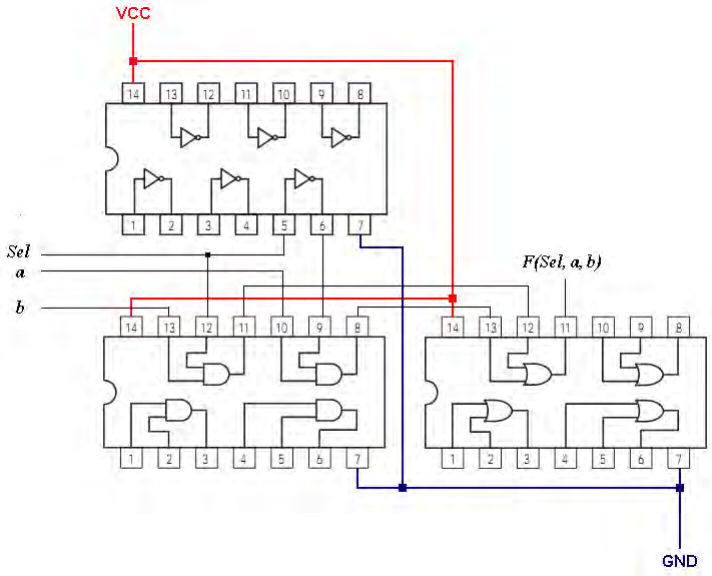


Fig. 3. Circuito equivalente empleando lógica discreta TTL.

```
--Circuito
ENTITY cir IS
 PORT (
        a, b, sel: IN    bit;
             sal: OUT  bit
       );
END cir;

ARCHITECTURE data_flow OF  cir  IS
BEGIN
sal <= ( (NOT sel) AND a ) OR (Sel AND b);
END data_flow;
```

```
--Circuito
ENTITY cir IS
 PORT (
        a, b, sel: IN    bit;
             sal: OUT  bit
       );
END cir;

ARCHITECTURE data_flow OF  cir  IS
BEGIN
sal <= a WHEN sel='0' ELSE
        b;
END data_flow;
```

Fig. 4. Código en VHDL que describe el circuito.

Así el estudiante puede apreciar la descripción empleando la ecuación obtenida en la reducción y otra descripción que emplea una sentencia de alto nivel, la cual más bien describe el comportamiento del circuito.

Aquí el estudiante aprecia las primeras bondades del empleo de los dispositivos lógicos programables simples, que es la ausencia de tener que reducir la función y el uso de sólo un dispositivo lógico, pues todo el circuito se puede sintetizar en una sola GAL22V10.

Conclusión y discusión

El empleo del circuito entrenador permite hacer posible la realización de todas las prácticas de laboratorio pues tan sólo se realiza una vez el cableado y no es necesario hacerlo en cada práctica. En el caso de que se comparece con el empleo de tarjetas de desarrollo se puede observar que el costo del circuito es mucho menor que el de una tarjeta de desarrollo. Por otro lado el costo del componente empleado es de tan sólo 25 pesos, en los casos que el estudiante llegó a dañar la GAL22V10.

Algunos estudiantes optaban por incorporar un circuito regulador (7805) para prescindir de la fuente de alimentación del laboratorio, requiriendo menores recursos de laboratorio y probando así su práctica en cualquier lugar. Aunque siempre requerían el programador universal, ese equipo estaba disponible en cualquier momento caso contrario a las mesas del laboratorio.

Desde el punto de vista pedagógico, el empleo de dispositivos de bajos recursos hace que el estudiante ingenie nuevas propuestas de solución para que pueda así describir un circuito capaz de realizar un objetivo específico en un componente con recursos limitados.

Reconocimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto de investigación SIP: 20110447 y la COFAA del IPN.

Referencias

[1] Pardo F. y Boluda J. A. *VHDL: Lenguaje para síntesis y modelado de circuitos*. 2ª edición. 2003. Alfaomega & rama, Madrid, España.

[2] Colom Palero R.J., Gadea Girones R., Cerda Boluda J., Herrero Bosch V. y Tebar Ruiz A. "Docencia multidisciplinar con sistemas de desarrollo para SoPC". *VIII Congreso de tecnología aplicada a la enseñanza de la electrónica TAEE08*. Julio 2008, pag.39.

[3] Brown S. y Zvonko V. "Fundamentos de Lógica Digital con Diseño VHDL". 2ª edición. 2006. Prentice Hall.

[4] Domínguez M.A., Quintáns C y Marcos J. "Enseñanza práctica de los microcontroladores y las FPGA's en los nuevos planes de estudio". *VIII Congreso de tecnología aplicada a la enseñanza de la electrónica TAEE08*. Julio 2008.

[5] Altera corporation. 28 de julio de 2011. http://www.altera.com/.

[6] Xilinx, Inc. 28 de julio de 2011. http://www.xilinx.com/.

[7] Becerra Vargas J.A., Sánchez Nieto D.A. y Pinto Arias A. "Diseño e implementación de una tarjeta entrenadora para FPGA con aplicaciones prácticas para el laboratorio de microelectrónica de la Universidad Francisco de Paula Santander". Revista Respuestas - Universidad Francisco de Paula Santander. Año 9 No. 2.

[8] Leyva G., Rizo F., Carreras C. y Nieto-Taladriz O. "Diseño de placas de prototipado con FPGA's VIRTEX y aplicación para laboratorios docentes". *VI Congreso de tecnología aplicada a la enseñanza de la electrónica TAEE04*. 15 de Julio 2004.

[9] Instituto Politécnico Nacional. "*Un nuevo Modelo Educativo para el IPN*". 1ª Edición. 2004. Edit. IPN. México D.F., México. (167 páginas).

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 65. Volumen 4(5), 7 páginas

EL CONCEPTO DE VARIACIÓN EN LOS NIVELES DE PRIMARIA Y SUPERIOR EMPLEANDO UNA HOJA ELECTRÓNICA

Elena Fabiola Ruiz Ledesma[1], Alejandro Oropeza López[2]

Resumen

En el presente trabajo se aborda el estudio de la variación, mediante el uso de la tecnología. En México, desde el nivel de Educación Primaria es introducido el concepto de variación en los Planes y Programas de Estudio, pero sólo se trabaja la variación proporcional directa y la mayoría de las veces es de forma mecánica sin que el estudiante logre dar sentido al uso del concepto al resolver problemas, reduciendo su trabajo al empleo de la regla de tres. Cuando el estudiante llega a nivel superior prevalece esta forma de trabajar el concepto de variación, obstaculizando el análisis del comportamiento global de diferentes funciones. Es por ello que se diseñaron actividades que incluyan diferentes funciones empleando la hoja electrónica en el salón de clases mediante la discusión en grupos de los estudiantes, pues es esencial que ellos identifiquen que la relación entre las variables de un problema no necesariamente es proporcional. Los resultados que se presentan en este documento muestran la necesidad de efectuar investigaciones, relacionadas con este concepto, que incluyan estudiantes de nivel básico, medio superior y superior.
Palabras clave: concepto de variación, educación primaria, educación superior, tecnología.

Abstract

In Mexico the students have a first contact with the variation concept in the basic educational level, however, only the direct and inverse proportional variation is worked and most of the times it's on a mechanic way and without the student giving sense to the use of the concept; what is manifested when tries to solve problems. The use of the direct proportional variation is reduced to the use of rule of three. When the students reaches superior school level, this way to work the variation concept prevails and that avoids among another things the analysis of the global behave of different functions that results essential in the calculus courses. This situation motivated the activities design that included the analysis of different functions, were worked in the class room by means of discussion in students groups. Twenty-five 18-19 year old Mexicans students participated in the research, because is essential that the students that get in university can identify that the relation between the variables of a problem is not always proportional. In the two documented activities was identified that the use of values table and the graphic exploration helped the reflection of the students.
Keywords: function, numerical representation, graphical representations, technology, variation concept.

Introducción

La incorporación de las tecnologías en el aula abre nuevas posibilidades de investigar los problemas matemáticos, permiten llevar a cabo operaciones algebraicas, realizar construcciones geométricas y efectuar exploraciones gráficas y numéricas [1] – [3]. No obstante, para lograr que utilicen la tecnología como instrumento que les ayude en la comprensión y formación de conceptos matemáticos, el papel del profesor es fundamental para el diseño y aplicación de las actividades con apoyo de los medios tecnológicos. Por otra parte, uno de los conceptos esenciales en el estudio del *Cálculo* es el de variación.

En México los estudiantes tienen una primera aproximación a este concepto en la educación básica. Sin embargo, sólo se trabaja la variación proporcional directa e inversa, la mayoría de las veces es de forma mecánica sin que el estudiante logre dar sentido al uso del concepto; lo que se pone de manifiesto cuando intenta resolver problemas. El uso de la variación proporcional directa se reduce a la aplicación de la regla de tres.

[1, 2] Escuela Superior de Cómputo del IPN. Av. Juan de Dios Bátiz, s/n Esq. Othón de Mendizabal Col. Lindavista. C.P. 07738 Gustavo A. Madero. México, D.F. 57296000 Ext. 52041. E-mail: elen_fruiz@yahoo.com.mx. [2] Ext. 52051. E-mail: saga_nueva77@hotmail.com

Cuando el estudiante llega a nivel superior prevalece esta forma de trabajar el concepto de variación, lo que obstaculiza –entre otras cosas- el análisis del comportamiento global de diferentes funciones, que resulta esencial en los cursos de Cálculo. Esta situación motivó el diseño y la aplicación de dos tipos de actividades (utilizando los programas *cabri-geometre* y *Excel*) que incluyen el análisis de la variación directamente proporcional como el no proporcional, a través del uso de diferentes funciones: lineal, cuadrática, exponencial, lo que se trabajó en el salón de clases mediante la discusión en grupos de los estudiantes, pues es esencial que los estudiantes que ingresan al nivel universitario identifiquen que la relación entre las variables de un problema no siempre es proporcional.

Antecedentes

Los estudiantes tienen su primer acercamiento al estudio de la variación en la educación básica. En los Planes y programas de estudio de Educación Primaria en México (Secretaría de Educación Pública) [4], [5], se incluye en el eje denominado *procesos de cambio* la noción de variación y se refiere exclusivamente a desarrollar en el estudiante lo concerniente a variación directamente proporcional e inversamente proporcional. De manera específica, el desarrollo del eje "procesos de cambio" se inicia con situaciones sencillas en el cuarto grado y se profundiza en los dos últimos grados de la educación primaria. Las lecciones de los libros de texto de educación primaria en México [4], están conformadas por la lectura, la elaboración, y el análisis de tablas y gráficas en las que se deben registrar y analizar procesos de variación. Las lecciones culminan con las nociones de razón y proporción, las cuales son fundamentales para la comprensión de varios tópicos matemáticos y para la resolución de problemas que se presentan en la vida diaria.

Aspectos Teóricos

Por otra parte, tenemos que Piaget [6] comenta que entre los 11 y los 12 años, se ve en el sujeto la presencia de la noción de las proporciones en diferentes ámbitos, tales como: las proporciones espaciales (figuras semejantes), las relaciones entre pesos y longitudes de los brazos en la balanza, las probabilidades, etc. Piaget [6] y Streefland [7] hacen hincapié en que para que el estudiante logre desarrollar de forma correcta la noción de variación directamente proporcional, es necesario partir de las nociones de ampliación y reducción siguiendo la idea de la fotocopiadora o del dibujo a escala, asumiendo que el estudiante a muy temprana edad logra reconocer lo que es proporcional.

Piaget [5] señala que el sujeto puede construir el esquema de proporcionalidad cualitativa cuando comprende que un incremento en una variable independiente da el mismo resultado que un decremento en la variable dependiente. Es decir, cuando comprende que requiere de un elemento de compensación.

De lo anterior se puede inferir que desde la educación Primaria se trabajan las variables tanto independientes como dependientes, enfocadas sólo a la idea de proporcionalidad.

Por otra parte estudios realizados por Hart [8], señalan que la noción de variación directamente proporcional es trabajada por los alumnos mediante el uso de la regla de tres, es decir de una forma mecánica, porque así es enseñada por la mayoría de los profesores, sin que promuevan en el estudiante un pensamiento proporcional cualitativo antes del cuantitativo para darle sentido al uso de la variación proporcional. Al respecto, un estudio previo[2] de carácter exploratorio que muestran Ruiz y Acosta [9] y [10] y Ruiz [11], donde se trabajó con estudiantes de sexto grado de educación primaria y profesores tanto de educación primaria como de secundaria, fue indicador de la utilización de la regla de 3 simple como única herramienta para resolver problemas de valor perdido en su resolución, que en el caso de los profesores, el empleo de este algoritmo fue exitoso, no sucediendo lo mismo con los estudiantes, añadiéndose a ello el que no hubo manifestación de entendimiento en su uso. Este estudio previo permitió ver la trascendencia de la instrucción escolar sometida bajo cierta clase de organización escolar, a través del empleo de un algoritmo, en la resolución de problemas de valor perdido. Muestra que si la enseñanza no introduce la regla de tres, ésta no aparece por sí sola.

Tanto profesores como estudiantes redujeron el tratamiento de razones y proporciones a la resolución del tipo de problemas antes mencionados, a través de la regla de tres. Se pudo constatar, el poco peso que tiene en la enseñanza la elección comprometida acerca de las razones y las proporciones, siendo que a nivel del programa de sexto grado está incluida la variación proporcional simple, en la mayoría de los módulos que lo integran.

De acuerdo al estudio realizado por Ruiz y Lupiañez [12], en donde emplearon un programa de geometría dinámica al trabajar los conceptos de razón y proporción en problemas en contexto, concluyó que

[2]Este estudio previo constituyó exclusivamente una fuente de obtención de información. Los problemas que conformaron la actividad eran muy típicos y dieron lugar al uso de la regla de 3, por lo que fue necesario trabajarlos empleando una guía de preguntas (tomando como antecedente el tema de escala) y la estrategia heurística del *diagrama*.

los estudiantes en los últimos grados de educación primaria tienen potencial para la adquisición y manejo de las nociones de razón y proporción, en un contexto coherente con su previo conocimiento matemático. Los estudiantes complementaron su aprendizaje con la observación y manipulación de representaciones hechas por la geometría dinámica en el ambiente del *cabri-geometre*.

Por otra parte, para los estudiantes que cursan el bachillerato o los primeros años de universidad, el tema de variación se fundamenta en el concepto de función, de esto se puede inferir que la conexión entre las variables independiente y dependiente y los cambios en la variable dependiente, para cambios en la variable independiente, son elementos esenciales para el conocimiento de la razón de cambio y la construcción e interpretación de gráficas que representan diferentes fenómenos. Relacionar las variables independiente y dependiente se puede favorece mediante la exploración numérica y gráfica con lápiz y papel o con apoyo de una hoja electrónica de cálculo .

Nemirovsky [13], señala: "*la construcción de un acercamiento variacional es un proceso complejo que involucra coordinación de muchas piezas diferentes de conocimiento. Toma lugar a lo largo del tiempo e incluye pasos hacia delante y hacia atrás. Con frecuencia un estudiante parece tener construidos elementos de un acercamiento variacional, pero en la solución de un problema más complejo regresa a usar técnicas no variacionales como las de semejanza o proporcionalidad. (p. 21)*"

Ruiz [14] encontró que cuando los estudiantes utilizan las funciones como relaciones entrada-salida tienen dificultades para realizar un análisis global de la función. Recomienda que analicen las funciones por intervalos para identificar características globales de las funciones.

Del trabajo de Hauger [15] y Nemirovsky [13], se puede inferir que para el estudio de los fenómenos que involucran cambio o variación, es recomendable que los alumnos exploren problemas en los que identifiquen, interpreten y analicen los comportamientos local y global de las funciones

Las ideas planteadas en los párrafos anteriores han sido el punto de partida en el diseño e implementación de una investigación que tuvo como propósito parcial: analizar y documentar los procesos de pensamiento que siguen los estudiantes para desarrollar el concepto de variación utilizando la herramienta tecnológica cuando trabajan en problemas matemáticos que representan situaciones cotidianas, tomando como base los resultados obtenidos.

Objetivos

Este documento tiene dos objetivos, el primero es presentar resultados de la investigación que se desarrolló con estudiantes de primaria empleando la tecnología, en donde se muestra que los estudiantes consideran, en sus primeras exploraciones, que las variables involucradas en los problemas están relacionadas mediante una variación proporcional. Destacando la idea de que los estudiantes de bachillerato tienen un pensamiento similar al que se desarrolla en los estudiantes de nivel básico. El segundo objetivo es proponer actividades que contribuyan a que el estudiante de bachillerato construya el concepto de variación y supere la creencia de que todo varía de forma proporcional.

Metodología

Sujetos

El estudio se llevó a cabo con 25 estudiantes de nivel universitario en un primer curso de matemáticas. Participaron 25 estudiantes, cuyas edades oscilan entre 18 y 19 años, provenientes de un bachillerato tecnológico, quienes ya habían tomado cursos de *Álgebra, Trigonometría, Geometría Analítica* y *Cálculo Diferencial e Integral.*

Instrumentos

La investigación, de la que aquí se reportan resultados parciales, se ubica en un paradigma de investigación cualitativo. Los instrumentos empleados durante la recolección de datos fueron:

a) Reportes escritos elaborados en forma individual.
b) Reportes escritos elaborados por cada pareja de estudiantes.
c) Grabaciones en audio y video del trabajo de los estudiantes.
e) Reportes elaborados por el profesor-investigador.
f) Archivos de Excel guardados en discos flexibles elaborados por los estudiantes forma individual y en pareja.

Construcción y organización de las sesiones

Las ideas desarrolladas en los referentes teóricos, sirvieron como ejes para diseñar y aplicar tres actividades, de las que aquí sólo se reporta una, en la que los estudiantes identificaron, interpretaron y analizaron el

comportamiento local y global de funciones. Estos elementos se consideran importantes para que los estudiantes analicen la forma en que varían las funciones, que es aspecto primordial en el estudio del Cálculo.

El número de sesiones para cada actividad fue variable, de acuerdo con el tiempo que los estudiantes necesitaron para la exploración y análisis de la información, y la discusión de las ideas matemáticas importantes involucradas en el proceso de solución. Los elementos que guían el análisis son:

1. Identificar la forma en que los estudiantes representan y explican situaciones que involucran cambio o variación.
2. Conocer cómo relacionan las variables involucradas en situaciones que representan cambio o variación.
3. Documentar la forma en que transitan de un análisis puntual o local del comportamiento de la función que representa el fenómeno a una explicación global.
4. Conocer la forma en que construyen relaciones funcionales que den sentido a la correspondencia entre valores del dominio y el rango de una función (relación entre variables).

Actividad. El problema de los edificios

El problema solicita desarrollar una fórmula para calcular la mayor distancia que se puede ver desde lo alto de un edificio. Si h es la altura en metros del punto de observación, la distancia de visibilidad en kilómetros se debe escribir como una función de la altura *s(h).* La actividad incluyó las siguientes indicaciones:

a) Calcular la distancia de visibilidad que se alcanza desde lo alto de diferentes edificios.
b) Elaborar una tabla donde se relacionen alturas con valores de *s(h)*
c) Realizar interpolación para determinar la distancia de visibilidad a partir de una gráfica de la función *s(h).*
d) Determinar la altura que debe tener un edificio para alcanzar a ver "*x*" kilómetros
e) Analizar el cambio en la distancia de visibilidad cuando se incrementa la altura
Describir la tendencia de los cambios del inciso d)

Para ejemplificar el trabajo desarrollado por los estudiantes en esta actividad se describe lo efectuado por Andrea e Isaac. En esta sesión se trabajó el problema haciendo uso de la tecnología, en este caso una hoja electrónica, como a continuación se describe:

Los registros escritos y las grabaciones muestran que para responder la pregunta del inciso (b) utilizan la relación *s(h)* sustituyendo los valores de *h* y obteniendo directamente los valores de *s(h)*, para cada dato de la tabla que construyen, como se observa en el diálogo.

Profesor: ¿Cómo le hicieron para poder llenar esta columna? (ver Fig. 1)
Andrea: Ah, pues lo mismo, lo sustituí cada uno de los valores con la misma fórmula.
Profesor: ¿Y luego?
Andrea: En la tabla, yo tomé los valores de 0 a 100 e hice la misma fórmula; de 0 es 0…

Para este trabajo los estudiantes utilizaron la ecuación proporcionada y una calculadora científica para calcular las distancias de visibilidad para diferentes alturas. Elaboraron una tabla para registrar los valores.

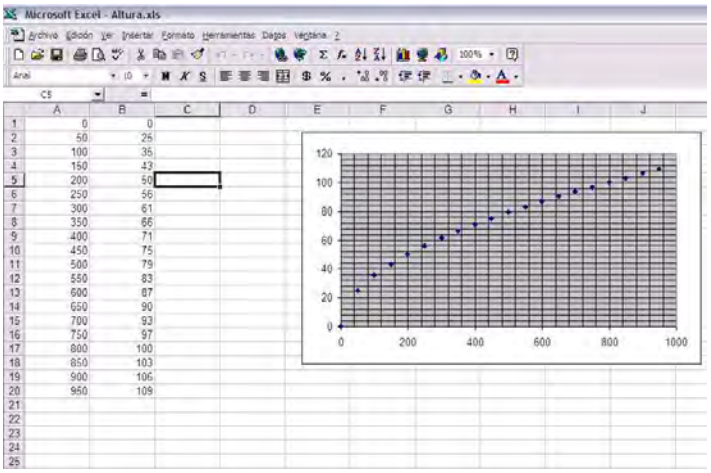


Fig. 1 Tabla y gráfica elaborada en Excel por Isaac

Para poder realizar un análisis de los datos y de esta manera incorporar la hoja de cálculo en el desarrollo de la tarea se les sugirió que elaboraran la tabla en *Excel*. No hubo mayor instrucción por parte del profesor en cuanto al uso de *Excel*, el propósito era conocer el manejo que los estudiantes hicieran del instrumento en forma espontánea.

El primer acercamiento de los estudiantes con la hoja de cálculo fue trabajar en ella como una tabla para concentrar los resultados de la figura anterior. Se les mostró que una utilidad de Excel es el manejo numérico de funciones y que los datos de una columna de la hoja de cálculo podían estar relacionados con otras columnas mediante una fórmula. En esta etapa se explicó al estudiante sobre el uso de *Excel,* el propósito era que relacionaran la representación numérica con el uso del instrumento *Excel*.

La elaboración de la tabla en la hoja de cálculo fue una oportunidad para que los estudiantes pensaran en la forma más conveniente de ordenar los datos identificando a la variable independiente y los valores que se debían incluir para analizar el comportamiento del modelo.

Hablaron sobre la conveniencia de ordenar los datos de mayor a menor, de menor a mayor, o por intervalos.

Análisis de la información a partir de una tabla y una gráfica

El trabajo siguiente fue la elaboración de la tabla en la hoja de cálculo tomando en cuenta las consideraciones anteriores. Así mismo se les pidió que con los datos de la tabla construida en Excel, trazaran una gráfica que les pudiera ayudar a responder los incisos de la pregunta 4.

Observaron que para poder calcular el valor de la distancia de visibilidad del inciso a) de la pregunta 5, era necesario realizar lo que ellos llamaron un refinamiento de los intervalos elegidos para la altura.

Isaac: *Necesitamos variar los intervalos de 10 en 10. Ahora sí, ¿en cuál nos quedamos?*

Esto les permitiría realizar una interpolación para responder la pregunta 5 y 6.

Etapa de Identificación y exploración de la función.

El trabajo descrito en los puntos anteriores muestra que los estudiantes utilizan las funciones como relaciones entrada-salida lo que les impide realizar un análisis global de la función. Issac indica que al aumentar la altura en intervalos de 100 metros, la distancia de visibilidad aumenta, Andrea por su parte observó la tabla elaborada con la hoja de cálculo, y señaló que la distancia de visibilidad no aumenta en forma proporcional como lo había expresado Issac desde la fase de entendimiento del problema:

Los siguientes fragmentos del diálogo que establecen, indican que Issac consideraba que la función seguía un comportamiento lineal y es mediante la exploración numérica y gráfica con la hoja de cálculo que se da cuenta de la contradicción entre los datos obtenidos en la tabla elaborada en Excel y el modelo mental que había preconcebido. El análisis realizado por los estudiantes de los datos obtenidos en la hoja de cálculo se llevó a cabo mediante el cálculo de la rapidez media de cambio de la función.

Andrea: *aumenta, pero va disminuyendo porque en el último intervalo de 100 metros aumenta 10. ¿Porqué disminuye?*

Issac*: Oye, si he aquí son 10 y luego si agarramos de 400 a 500 es 9. Pero ¿porqué?. ¿No se supone que a mayor altura mayor distancia de visibilidad?*

Después de explorar de nuevo la tabla y la gráfica elaboradas en EXCEL pudieron concluir: que la distancia de visibilidad aumenta al aumentar la altura pero la función no sigue un comportamiento lineal.

Hay más actividades que se trabajaron con los estudiantes como el que fue denominado ***Asistencia al concierto:***

"Suponga que en una investigación de mercado se ha encontrado que el número de personas que asisten a un evento depende del costo del boleto".

Esta situación se puede representar mediante la siguiente ecuación:

$$A(p) = 2500 - 175p$$

donde: A = representa el número de personas que asisten al evento.
p = representa el precio del boleto de entrada. Se solicitó a los estudiantes responder las preguntas:

a) ¿Cuál es el número máximo de personas que pueden asistir al concierto?
b) ¿Cuál es el precio máximo que se puede cobrar por la entrada al concierto para garantizar la asistencia de por lo menos 10 personas?
c) ¿Cuál será la asistencia al concierto si el precio del boleto es de $10?

d) ¿Cuál será la asistencia si la admisión es libre?

Edgar y Luis inicialmente trabajaron en forma individual, realizaron un análisis puntual de la función, sustituyeron diferentes valores del precio del boleto en la ecuación proporcionada, y con estos valores respondieron en forma correcta el inciso c. Para responder el inciso b despejaron la variable p y sustituyeron el número de personas que asistían al concierto (Figura 2), con esto dieron respuesta a la pregunta *¿cuál es el precio... para tener una asistencia de...?* en lugar de *¿cuál es el precio máximo... para tener una asistencia de por lo menos....?*

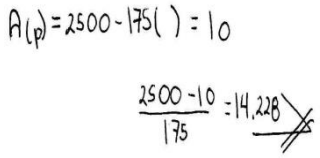


Figura 2. Respuesta de Edgar y Luis al inciso b

Las afirmaciones de Luis confirman lo anterior:

Aquí despejo y puse un valor de 10 personas para sustituir y llegar a la conclusión de que $14 debe ser el precio mínimo para una entrada de 10 personas.

Partiendo de este supuesto, el profesor-investigador consideró que la exploración de una tabla o una gráfica podía contribuir para que el estudiante efectuara un análisis global del comportamiento de la función y tuvo una intervención en esta dirección. Se solicitó que construyeran una tabla y una gráfica, la cual fue elaborada en excel y esto le permitió al estudiante revisar que no todo varía de forma proporcional y que por lo tanto no requiere del uso de la regla de tres.

Hay más problemas que fueron aplicados a los estudiantes, pero por motivos de espacio no pueden ser explicados en el presente trabajo.

Reflexión

En esta actividad se identifica que cuando los estudiantes resuelven problemas en los que tienen que formular un modelo matemático una primera estrategia que emplean es considerar que las cantidades cambian en forma proporcional. Aún cuando la fórmula es proporcionada los estudiantes sustituyen valores en la fórmula y asumen que la relación entre las variables es lineal, sin efectuar un análisis del comportamiento general de la función.

Conclusiones

Aunque no es posible generalizar acerca de los procesos que los estudiantes siguen para robustecer su conocimiento del comportamiento de las funciones, los resultados de esta investigación dan indicios de los beneficios de incluir en el trabajo de los estudiantes el análisis de diferentes tipos de funciones, a través de su exploración gráfica tabular y algebraica. La construcción del concepto de variación es un proceso que toma tiempo y tiene retrocesos por lo que debe ser reforzado mediante actividades que fomenten la reflexión consciente de los estudiantes en los distintos niveles educativos.

Se puede inferir que la noción de variación directamente proporcional, mediante la aplicación de la regla de tres, que se enseña a los estudiantes de nivel básico, permanece en los estudiantes de nivel superior. Los alumnos la empelan como una estrategia durante sus exploraciones iniciales. Sin embargo, como señalan Hart [8], Ruiz y Lupiañez [11], los escolares la aplican en forma mecánica, sin tener un pensamiento proporcional cualitativo. Estas ideas ayudan a comprender por qué estudiantes como Issac emplean la regla de tres para responder las preguntas de la actividad.

Estos resultados son importantes debido a que permiten conocer la forma en que los estudiantes emplean los conocimientos adquiridos en niveles educativos anteriores, y contribuyen para que se analice con mayor cuidado la forma en que se enseña la idea de variación en el nivel básico. No obstante, es necesario realizar investigaciones de mayor duración que brinden información más amplia acerca de la idea de variación en los estudiantes de nivel básico medio superior y superior.

Agradecimientos

La autora Elena Ruiz agradece a la Secretaría de Investigación y Posgrado por el apoyo brindado en el proyecto de Investigación con Número 20110343 para poder presentar este artículo.

Referencias

[1] Cuadra, D. Maqueda, A. I. Castro, E. Férnandez, P.M. Educational Experiences Detecting, Using, and Representing Ternary Relationships in Database Design Education, IEEE Transactions on. Vol. 53 Issue 3, 2010, 358 – 364.

[2] Bassein, S.. *An Infinite Series Approach to Calculus*. 1993Publish Perish, Inc. Houston, Texas. (PP.140).

[3] Precup, R.-E. Preitl, S. Radac, M.-B. Petriu, E. M. Dragos, C.-A. Tar, J. K Experiment-Based Teaching in Advanced Control Engineering Education, IEEE Transactions on Vol. 54 Issue 3, 2011, 345 – 355

[4]. Secretaría de Educación Pública. *Plan de programas de estudio. Educación Básica. Primaria.* Dirección General de Materiales y Métodos Educativos de la Subsecretaría de Educación Básica y Normal. 2010ª. México D. F.: SEP.

[5] Secretaría de Educación Pública. *Matemáticas. Sexto grado*. 2010b. Comisión Nacional de los Libros de Texto Gratuitos. México D. F.: SEP.

[6] Piaget, J. Las operaciones intelectuales y su desarrollo. En J. Delval (Comp.), *Lecturas en Psicología del Niño, I*. 1998. Madrid: Alianza Editorial. (pp. 70-119)

[7] Streefland, L. *Fractions in realistic mathematics education*. 1991. Tesis doctoral publicada por la Kluwer Academic Publishers. 46-134.

[8] Hart, K. Ratio and proportion. En J. Hiebert and M. Behr (Eds.), *Concepts and operations in the Middle Grades, 2,* 1998. Reston, Virginia: National Council of Teachers of Mathematics. (pp. 198-219).

[9] Ruiz, E. F., y Acosta, F. Resolución de problemas a nivel primaria haciendo uso de la calculadora Math Explorer. 1997ª. *Resúmenes de la Reunión Latinoamericana de Matemática Educativa. Comité Latinoamericano de Matemática Educativa.* (p. 245).

[10] Ruiz, E. F., Ruiz, E., Acosta, F. Taller de Resolución de problemas a nivel medio, haciendo uso de la calculadora Math Explorer Plus. *Memoria del XVI Congreso Nacional de la Enseñanza de las Matemáticas* 1997b. (pp. 17-18). Asociación Nacional de Profesores de Matemáticas. Escuela Normal Superior del Estado de México.

[11] Ruiz, E. F. Uso de las calculadoras Math Explorer y TI-92 en la Resolución de Problemas: Una experiencia con profesores de los niveles básico y medio. *Memorias del Seminario Nacional de Calculadoras y Computadoras en Educación Matemática.*1997 (pp. 25-35).

[12] Ruiz, E.F. y Lupiañez, J. L. Detección de obstáculos psicopedagógicos en la enseñanza y el aprendizaje de los tópicos de razón y proporción en alumnos de sexto grado de educación primaria. *Revista Electrónica de Investigación Psicoeducativa. No. 17 Vol. 7(1)*, 2009. (p.p 397-427).

[13] Nemirovsky, R. *Students´ Tendency to assume resemblances between a function and its derivative*. Reports-Research/Technical (143). Recuperado el 16 de mayo de 2010, de http://edres.org/eric/ED351193.htm

[14] Ruiz, E. F. . *Estrategias Didácticas en la enseñanza del Cálculo Diferencial e Integral en Ingeniería*. Reporte técnico de proyecto de investigación registrado en la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP), del IPN con núm. de registro CGPI 20100398, México, 2010, IPN.

[15] Hauger, G. *Rate of change knowledge in high school and college students*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association. San Francisco, CA. Recuperado el 18 de julio de 2010, de: http://www.eric.ed.gov:80/ERICWebPortal/

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo No. 71. Volumen 4(6), 1 página.

PROPOSAL FOR ACCREDITATION OF THE SUBJECT CONTROL SYSTEMS IN ENGINEERING AT BACHELOR LEVEL IN EUROPEAN QUALIFICATION FRAMEWORK (EQF).

Georgios Tsirigotis[1], Anna Friesel[2]

Abstract

The progress of science and technology emphasizes the connection between different domains and disciplines. The technology development and changing demands of the labour market require upgrading and renewing of skills and competencies in engineering fields. The Life Long Learning (LLL) procedure must be the platform offering the required qualifications for the demands of companies all over the world in order to support their competitiveness. In this paper we describe the proposal for accreditation of the important subject in engineering, namely Control Systems. The described procedure could be applied in the frame of LLL and also in classical engineering education systems, like university and college education, in order to harmonize the recognition of engineering degrees in Europe and outside the Europe. In this paper we state the necessary outcomes in the subject of Control Systems in engineering at the Bachelor level and we propose a process to test of the qualifications. This proposal has been developed under the work of the **ELLEIEC** ERASMUS thematic network (Enhancing Lifelong Learning in Electrical and Information Engineering, www.elleiec.eu)

[1] Electrical Engineering Department, Kavala Institute of Technology, Greece. E-mail: tsirigo@teikav.edu.gr
[2] Electronics and Information Technology, Copenhagen University College of Engineering, Denmark. E-mail: afr@ihk.dk

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 91. Volumen 4(6), 5 páginas.

CONTROL NEURO-PID DE BRAZO ROBÓTICO, CON VISIÓN ARTIFICIAL.

Francisco Javier Pita Martínez[1]

Resumen

En este documento se describe el uso del control PID y la implementación de una red neuronal basada en el modelo "perceptron multicapa", para el cálculo de cada constante de control (Kp, Ki, Kd), con el fin de controlar los ángulos de posición de cada grado de libertad en el brazo manipulador. Así mismo se presenta la forma del cálculo de coordenadas para el efector final, por medio de adquisición y procesamiento de imágenes.

Palabras clave: brazo robótico, neuro-PID, visión artificial.

Abstract

This paper describes the use of PID control and implementation of a neural network based in the model "multiplayer percepron", for the calculation of each control constant (Kp, Ki, Kd), in order to control the angle of position of each degree of freedom in the manipulator arm. It also shows how the calculation of coordinates for the end effector, through acquisition and image processing.

Keywords: Neuro-PID, Robotic Arm, Artificial Vision.

Introducción

Existen en la actualidad muchos y muy diversos modelos de control, aunque los usados en la industria mayormente son solo algunos pocos, pues cabe destacar que sigue siendo el PID, una forma de control preferida por su alto desempeño y su relativa facilidad de implementación, quedando solo el ajuste de las constantes (Kp, Ki, Kd) que lo definen, la parte medular del comportamiento que tendrá, más aún si el comportamiento no es monótono, será necesario hacer este ajuste para cada movimiento, más sin embargo ahora sea probado que la adaptación de una red neuronal, para realizar el ajuste, es una solución bastante exitosa en el campo de control. Es por eso que en este trabajo se presenta la aplicación del control neuro-PID, para el cálculo de los ángulos de la posición final de cada servomotor del brazo robótico [1].

El control se realiza en la plataforma Labview®, en donde por medio de una cámara se realiza la adquisición de imágenes y se analizan para detectar un objeto predeterminado, para después enviar las coordenadas al sistema de control en donde es usado un script de Matlab®, para hacer la programación del neuro-PID, y por ultimo se envía la señal de salida a cada actuador con el fin de que, en sincronía lleguen hasta el objeto, lo tome, y lo coloque en la posición "Home".

Brazo robótico

El brazo a usar es del tipo "RRR" (ver Fig. 1), el cual es accionado por medio de servomotores, estos servomotores se conectan a una tarjeta de adquisición de datos, modelo: "6012", de National Instruments®, que se encarga de ser la interfaz con la PC.

Visión Artificial

En el campo de la visión artificial existen ya software's dedicados a la adquisición y procesamiento de imágenes, uno de ellos es el "Vision Asistant®" de Labview, por medio del cual se hace el estudio del entorno y el objeto que estarán presentes y deberán ser reconocidos, para poder trabajar con ellos, principalmente la labor radica en diferenciar el objeto de su entorno, asi como adquirir la posición y dimensiones del mismo.

[1] Instituto Tecnológico de Querétaro, Madero #307 col. Niños Heroes C.P. 76010, Tel.:4427047474. E-mail: ion_paco@hotmail.com

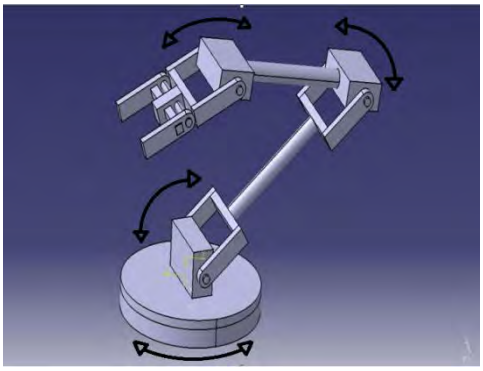


Fig. 1. Brazo robótico RRR.

El diagrama en "código G" del sistema de visión diseñado para esta aplicación (ver Fig. 2), tiene la capacidad de reconocer objetos que hagan contraste con el fondo usado en el entorno, ej. Objs. Blancos en fondo negro u objs. Negros en fondo blanco. En el panel frontal (ver Fig. 3) se muestra la interfaz con el usuario en donde se muestran los datos del objeto (dimensiones, posición, etc.).

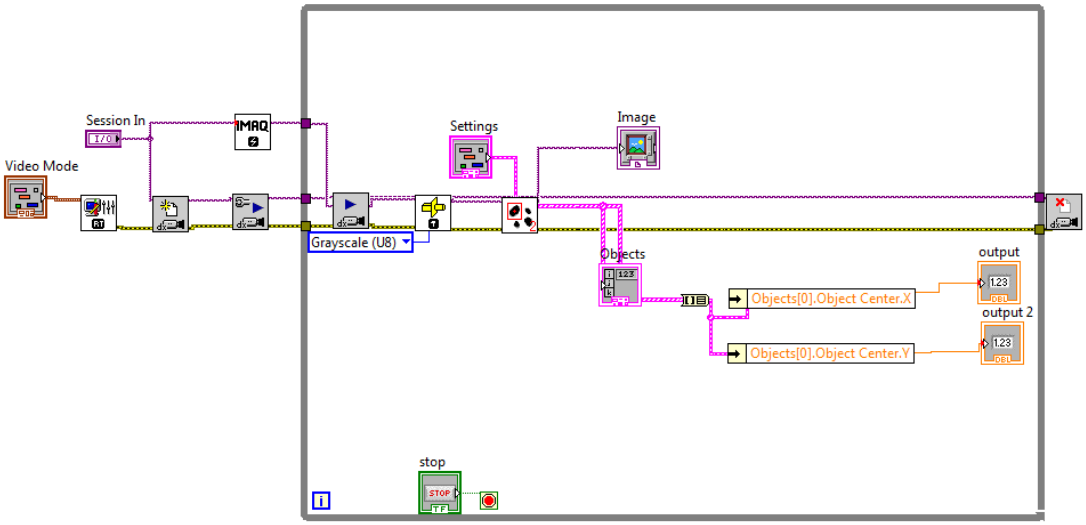


Fig. 2. Código G, del sistema de visión.

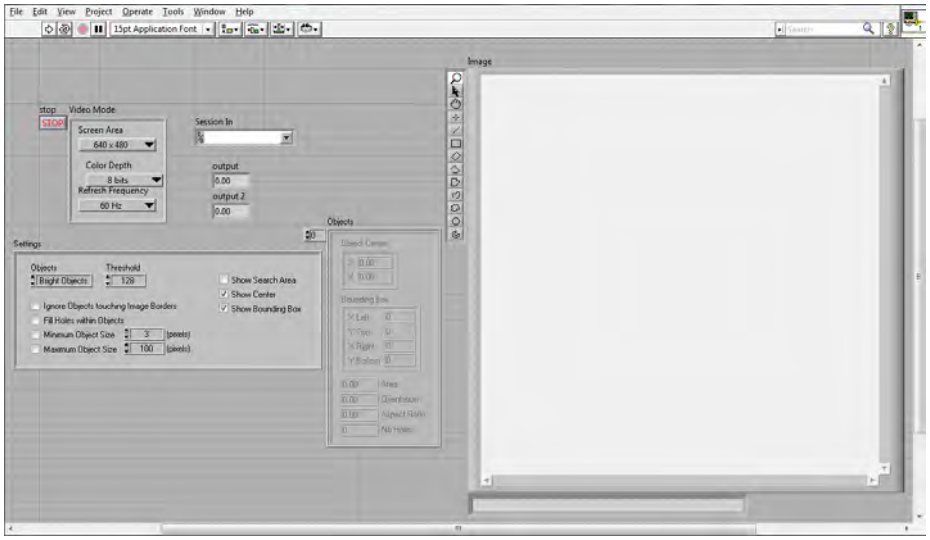


Fig. 3. Panel frontal del sistema de visión.

Control del robot

Para el control del robot primero es necesario transformar las coordenadas estimadas por el sistema de visión, para después hacer el cálculo del objeto con respecto del robot, por medio del teorema de Pitágoras y la ley de senos, a continuación se calculan los ángulos necesarios para cada enlace mediante ley de cosenos, que dan por resultado la posición exacta para que el brazo pueda alcanzar el objetivo.

Neuro-PID

En control se le conoce al neuro-PID como la combinación del control PID (ver Fig. 4) y el uso de redes neuronales, esto con el fin de optimizar el cálculo de las constantes necesarias para sintonizar el PID (Kp, Ki, Kd) [2]. La función de transferencia del PID está dada por la siguiente ecuación.

$$\Gamma_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_c\left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right] \tag{1}$$

donde: $U(s)$ – entrada.
$E(s)$ – error entre el valor deseado y la salida.
K_c – ganancia proporcional.
$T_{i,}$ – tiempo integral.
$T_{d,}$ – tiempo derivativo.

En el dominio del tiempo, esta se escribe como sigue.

$$u(t) = k_c\left[e(t) + \frac{1}{T_i}\int_{-\infty}^{t} e(\tau)d\tau + T_d\frac{d}{dt}e(t)\right] \tag{2}$$

$$e(t) = d(t) - y(t) \tag{3}$$

En la actualidad hay varios métodos para hacer el ajuste de las ganancias en el PID, uno de ellos es el método de Ziegler – Nichols, discretizandolo, obtenemos:

$$u(t) = u(t-1) + k_p\big(e(t) - e(t-1)\big) + k_i e(t) + k_d\big(e(t) - 2e(t-1) + (t-2)\big) \tag{4}$$

El cual llevándolo al caso en tiempo discreto, se obtiene lo siguiente.

$$K_p = k_c - \frac{k_i}{2}, \tag{5}$$

$$K_i = \frac{1.2}{RL}\bullet\frac{T}{2L} = \frac{0.6}{\left(\frac{L}{T}\right)^2(RT)} = \frac{0.6}{G_0 L_0^2}, \tag{6}$$

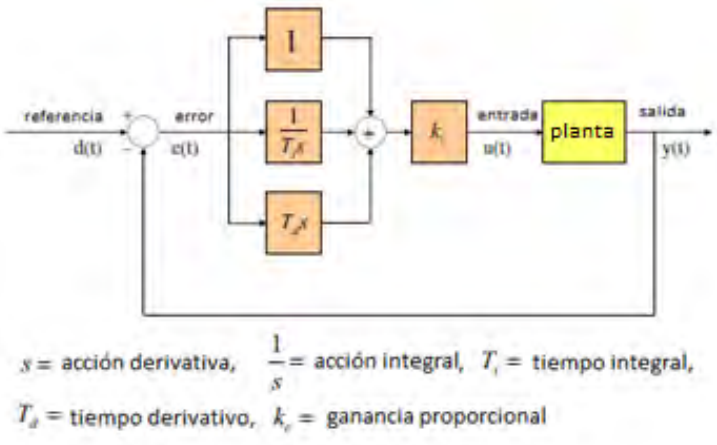


Fig. 4. Diagrama de control PID

$$K_d = k_c \frac{T_d}{T} = \frac{0.6}{G_0}, \tag{7}$$

$$G_0 = \max\big(y(t) - y(t-1)\big), \tag{8}$$

$$L_0 = \frac{L}{T} \tag{9}$$

Usando (4) la salida producida es *y(t+1)*. Por lo que el error total se define por.

$$E(t+1) = \frac{1}{2} e(t+1)^2 \tag{10}$$

Se consideran las tres capas de la red neuronal (ver Fig. 5), donde se propone que la función de salida sea f (x) = x en la capa de salida para ampliar el alcance de la Ganancias de PID sobre [0,1]. Utilizando las tres neuronas de salida de la red neuronal con el fin de que cada una determine una ganancia del PID, como sigue.

$$K_p = O_k(1), \qquad K_i = O_k(2), \qquad Kd = O_k(3), \tag{11}$$

$$O_k(m) = red_k(m) = \sum_{j=0}^{N} w_{kj} O_j, \qquad m = 1,2,3 \tag{12}$$

Donde O_k se encuentra en la salida de la neurona, en la capa de salida. Por la forma similar a la derivación del algoritmo de BP, se definen los valores invermentales de w_{kj}, w_{ji} como

$$\Delta w_{kj}(t+1) = w_{kj}(t+1) - w_{kj}(t) = -\eta \frac{\partial E(t+1)}{\partial w_{kj}}\bigg|_{w_{kj}=w_{kj}(t)} + \alpha \Delta w_{kj}(t) \tag{13}$$

donde: 1, 2, 3, $j = 0, 1, \ldots, N$.

Definimos δ_k como sigue:

$$\delta_k = -\frac{\partial E(t+1)}{\partial net_k} \tag{14}$$

Por lo que llegamos a

$$-\frac{\partial E(t+1)}{\partial w_{kj}} = -\frac{\partial E(t+1)}{\partial net_k} \frac{\partial net_k}{w_{kj}} = \delta_k O_j \tag{15}$$

Mediante el uso de la regla de la cadena de la derivada, tenemos

$$\delta_k = -\frac{\partial E(t+1)}{\partial y(t+1)} \frac{\partial y(t+1)}{\partial u(t)} \frac{\partial u(t)}{\partial O_k} \frac{\partial O_k}{\partial net_k} \tag{16}$$

Teniendo en cuenta la definición de *E(t+1)* y *e(t+1)* y la definición de *f(x)=x* y usando (4) y $K_p = O_1, K_i = O_2, K_d = O_3$, obtenemos

$$\frac{\partial u(t)}{\partial O_k} = \begin{cases} e(t) - e(t-1) & (k=1) \\ e(t) & \rightarrow (k=2) \\ e(t) - 2e(t-1) + e(t-2) & (k=3) \end{cases} \tag{17}$$

Definimos el sistema Jacobiano como:

$$Jac(t) = \frac{\partial E(t+1)}{\partial u(t)} \tag{18}$$

Tenemos:

$$\delta_k = e(t+1) \cdot Jac(t+1) \frac{\partial u(t)}{\partial O_k}, \qquad \text{K = 1, 2, 3} \tag{19}$$

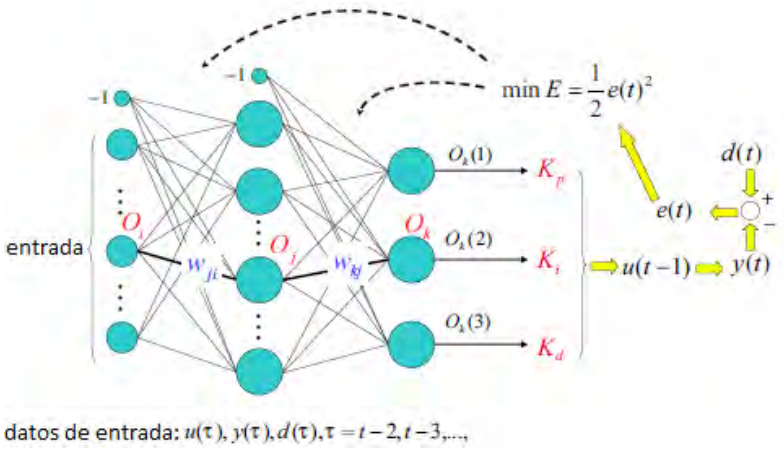


Fig. 5 Estructura del neuro-PID

Por lo tanto, obtenemos la siguiente relación.

$$\Delta w_{kj}(t+1) = w_{kj}(t+1) - w_{kj}(t) = \eta \delta_k O_j \tag{20}$$

Similarmente obtenemos las siguientes relaciones.

$$\Delta w_{ji}(n+1) = \eta \delta_j O_i \tag{21}$$

$$\delta_j = \sum_{i=1}^{K} \delta_k w_{kj} O_j (1 - O_j) \tag{22}$$

Usando métodos de aproximación obtenemos que el Jacobiano del sistema esta dado por la siguiente ecuación:

$$Jac(t+1) \approx \sum W_{kj} O_j (1 - O_j) W_{j1} \tag{23}$$

donde: W_{j1}: es el peso de la conexión de la entrada *u(n)* con la neurona *j*.

La implementación de las ecuaciones anteriores en el sistema de control hecho en Labview®, permite al robot llegar a la referencia descrita por el sistema de visión, puesto que el ángulo de posición de cada servomotor es directamente proporcional al ancho de pulso del pwm, la ecuación del sistema (servomotor) es implementado como.

$$y = A * u \tag{24}$$

Donde: A - es constante

Conclusión

El uso de las redes neuronales para el ajuste de un PID, es una herramienta más en el control de diversos dispositivos, ya que tiene una respuesta muy satisfactoria a comparación de métodos como el PID, lógica difusa, etc. Así mismo el uso de la visión artificial, la cual es una excelente forma de generar los parámetros de referencia, permitió facilitar el cálculo para cada posición del objeto a recoger.

Referencias

[1] A. Muñoz Mario, F. Caicedo Eduardo, A. López Jesús. *Control inteligente de un tanque con agitación continua*. Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad del valle, Cali, Colombia.

[2] Kawato, M., Furukawa, K., Suzuki, R.: *A Hierarchical Neural Network Model for Control and Learning of Voluntary Movement*. Biological Cybernetics, 57, 169–185 (1978).

PÁGINA EN BLANCO

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 92. Volumen 4(6), 6 páginas.

LABORATORIOS DE INGENIERÍA Y MAPAS CONCEPTUALES: UNA EXPERIENCIA DIDACTICA

Araceli Lara Valdivia[1], David Sandoval Cardoso[2], Juan R. Morales Gómez[3], Hilaro Terrés Peña[4], Arturo Lizardi Ramos[5], Raymundo López Callejas[6]

Resumen

Este estudio versa sobre la aplicación de los llamados mapas conceptuales para mejorar el proceso enseñanza-aprendizaje de la UEA LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS I, impartida en la UAM-AZC. Aparte de las prácticas de laboratorio, se realizaron varias coreografías didácticas y discusiones grupales para construir, colectivamente, mapas conceptuales que coadyuvaran al alcance de los objetivos académicos de las prácticas. El estudio se realizó con 16 alumnos, organizados en grupos de cuatro estudiantes. Cada grupo elaboró su propio mapa sobre los conceptos involucrados en cada práctica, analizando y jerarquizando tanto los conceptos como las relaciones entre ellos. Después, los estudiantes trabajaron la parte experimental de la práctica. Para terminar, mediante una revisión grupal del mapa conceptual previamente concebido, se reafirmaba o modificaba el mapa. Los resultados observados permitieron constatar que el uso de la técnica sí permitió que los alumnos comprendieran mejor el marco conceptual que se deseaba enseñarles.
Palabras clave: Concepto, coreografías, enlaces, mapa, proposiciones

Abstract

This paper deals with the use of the concept mapping tool to improve the teaching-learning process of the UEA TERMOFLUIDS LABORATORY I, which is a subject pertaining to the curricula of several engineering majors offered by the Universidad Autonoma Metropolitana Azcapotzalco. Besides the laboratory practices, the students and the professor performed together several didactic choreographies and discussions to develop concept maps which helped to reach the academic objectives of the practices. This study was made in close collaboration with a group of 16 students, which was divided into 4 subgroups of 4 students each. As a first step, the subgroups built their maps on their own around the concepts involved in the practice which was being carried out, and to accomplish this task, the students analyzed and arranged in a hierarchical order these concepts and the relations among them. Then, the students performed the experiment required. Finally, each concept map was reviewed by the group to reinforce or modify it. The results watched during the study let us to conclude that the use of the technique allowed the students to get a better understanding of the conceptual foundations of the laboratory practices.
Keywords: Concept, choreography, links, maps, proposals.

Introducción

Los mapas conceptuales fueron desarrollados, en la década de 1970, por Joe Novak [1] y su equipo de investigación de la Universidad de Cornell, como una herramienta para mejorar la comprensión de la ciencia.

A partir de entonces, los mapas conceptuales han sido estudiados, redefinidos, afinados y empleados en varias disciplinas, como un recurso didáctico más para apoyar a los estudiantes y profesores involucrados en el proceso enseñanza-aprendizaje. Aunque han sido utilizados en mayor medida por docentes e investigadores en el área educativa, su campo de aplicación es muy extenso. Algunas de las bondades [2] que se atribuyen a los mapas conceptuales son:

[1] Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Departamento de Energía. Av. San Pablo Nº 180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P.02200, Del. Azcapotzalco, México D.F. Tel. 5318-9060, Fax 5318-9058. E-mail: arlv@correo.azc.uam.mx
[2-6] Idem.

1. Que permiten sintetizar la información para comprenderla en el momento de estudiar,
2. Que es posible comprender, captar o aprender la información más fácilmente.
3. Que hacen posible visualizar las estructuras de conocimiento de los estudiantes y les ayudan a grabar cambios en su marco conceptual.

Con el fin de hacerlos más eficaces para la enseñanza de las ciencias, se han propuesto algunos ajustes menores [3], como: construcción más disciplinada de los mapas; una secuencia dinámica de los siguientes pasos: elaboración, discusión y reelaboración de los mapas conceptuales; mayores puntajes de evaluación en el acierto de los conceptos de mayor jerarquía, puntajes intermedios en las proposiciones utilizadas en los enlaces, y menores en los de menor jerarquía; mayor atención a los enlaces entre los conceptos, más que al mapa en su totalidad.

Otros estudios [4], se han enfocado más a la aportación de la teoría cognitiva, sus perspectivas y alcances. Oser y Baeriswyl [5], propusieron el concepto de las coreografías didácticas para visualizar la conexión existente entre enseñanza y aprendizaje, entre lo que hacen los profesores y lo que los estudiantes consiguen por medio de los mapas conceptuales.

El objetivo de este trabajo es evaluar el impacto sobre el proceso enseñanza-aprendizaje de la aplicación de los mapas conceptuales como recurso didáctico. La estrategia consiste en considerar las aportaciones sugeridas por Oser, Baeriswyl y Kharatmal.

Metodología

De acuerdo a Oser y Baeriswyl, las coreografías didácticas se organizan de acuerdo a los siguientes niveles:

- *Nivel externo*.- es visible, formado por elementos materiales, organizativos, operativos y dinámicos que configuran el espacio de acción en el que se efectúa la enseñanza.
- *Nivel interno*.- no visible, compuesto por operaciones mentales, dinámicas afectivas o emocionales que se desarrollan en el interior de los alumnos. Se realizan como una secuencia de operaciones que llevan a una actuación especifica.
- *Nivel de producción*.- lo conforma el producto o el resultado del aprendizaje; se prevé que el estudiante llegue a dominar un concepto, y que se encuentre en condiciones de aplicarlo, y/o que haya desarrollado habilidades, y/o que haya reforzado una actitud o, en su caso, el logro de un producto determinado.

Aplicando lo anteriormente expuesto al caso que nos ocupa, se planteó la secuencia mostrada en la Tabla 1. En ella, también se ponen de manifiesto las modificaciones propuestas por Kharatmal [3].

Las prácticas que el programa de la UEA LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS I comprende son ocho. Los alumnos inscritos fueron 16; se formaron cuatro equipos de trabajo con cuatro alumnos cada uno.

Las prácticas se dividieron en dos bloques de cuatro prácticas, que se rotan hasta que todos los equipos realizan las primeras cuatro prácticas, para continuar con el siguiente bloque de cuatro prácticas [6].

Las primeras cuatro prácticas que se realizaron se muestran en la Tabla 2, al igual que los conceptos relevantes en cada una de ellas, mismos que utilizaron los alumnos en su primera versión del mapa conceptual.

Resultados

La Fig. 1 muestra la primera versión realizada por el grupo A de alumnos, mientras que la primera propuesta de los alumnos del grupo B se puede ver en la Fig. 2. Aunque los conceptos que se les dieron fueron los mismos, se observan diferencias sutiles en la introducción de los nuevos conceptos (derivados de los conceptos dados).

Del mapa se evaluó lo siguiente:

a) La introducción de nuevos conceptos.
b) Las proposiciones, palabras enlace más apropiadas.
c) La jerarquización de los conceptos generales y los derivados.
d) Las relaciones cruzadas o relaciones entre conceptos de diferentes partes del mapa.

Con cada grupo de alumnos se analizó su mapa, y su relación con la operación de tubo Venturi, y los cálculos a realizar así como las características del reporte de la práctica.

Una vez finalizada la parte experimental de la práctica, se organizó una segunda reunión con los estudiantes, pero ahora con la participación de los dos grupos de alumnos, A y B. El mapa resultante del consenso se incluyó en los reportes de la práctica, a solicitud expresa del profesor.

Tabla1. Coreografías Didácticas

Coreografía externa	*Coreografía interna*
Explicación de lo que son los mapas conceptuales, y de las diferentes formas de relacionar conceptos entre sí, mediante ejemplos	Se evalúa la participación del alumno, sus preguntas y actitud
El tema y bibliografía* se les dio con una semana de antelación	Durante esa semana cuentan con asesoría, lo que permitió, a través de sus dudas, evaluar sus inquietudes y su comprensión de los textos consultados
Luego de haber estudiado la bibliografía sugerida, los alumnos, de manera grupal, trabajaron para definir su mapa conceptual (divididos en equipos de 4 alumnos)	Mediante el mapa propuesto, se visualizó si las ideas expuestas en la bibliografía habían sido bien captadas por los alumnos, si podían usar esas ideas para interrelacionar los conceptos y establecer jerarquías, y con ello conocer, conjeturar o prever los pasos a seguir en el desarrollo de la práctica
Al comienzo del desarrollo experimental, se usó parte del tiempo para analizar, junto con los estudiantes, cada mapa conceptual. Se tuvo cuidado en que todos los alumnos participaran por igual.	Durante la discusión se juzgó si las ideas fueron captadas, y si los alumnos podían organizar, de nuevo, todo lo discutido en un nuevo y revisado esquema, que recogiera, de manera adecuada, todos los conceptos y relaciones considerados
Los alumnos realizaron la parte experimental de las prácticas	Durante este período vigiló si los alumnos operaban el equipo adecuadamente, y si realizaban las mediciones necesarias para el cumplimiento de las metas de la práctica. Esto sirvió para evaluar el grado de dominio de los conceptos y su proyección sobre la realidad
Entrega y discusión del reporte. Cada grupo de estudiantes revisó su mapa conceptual y, considerando las aportaciones de todos sus integrantes, el grupo lo fue reajustando, tomando los resultados obtenidos y la interpretación de los mismos como elementos finales	Se evaluó el reporte, dándole especial atención tanto a las conclusiones como a la versión final del mapa conceptual. Si los alumnos son capaces de llegar a resultados y de hacer una representación de formato como el mapa conceptual, serán capaces de utilizar esos conceptos para lidiar con casos y realidades semejantes

La bibliografía seleccionada fue: el manual de operación del equipo del laboratorio, y normas del equipo o propiedades de los fluidos a medir durante la practica.

Tabla 2. Cuatro de las ocho prácticas planeadas y sus conceptos

Práctica	Conceptos
Tubo Venturi	Diámetro, gasto volumétrico, caída de presión, ecuación de Bernoulli, ecuación de continuidad, efecto Venturi, aplicaciones, curva de calibración
Pérdidas de presión en tuberías	Pérdidas primarias, pérdidas secundarias, número de Reynolds, factor de fricción, rugosidad relativa , longitud equivalente
Visualización de flujos	Línea de corriente, línea de trayectoria, línea de flujo, número de Reynolds, flujo turbulento, flujo laminar, diseño aerodinámico, fuerza de fricción, estela
Chorro en caída libre	Aceleración, diámetro chorro, diámetro boquilla, velocidad salida chorro, energía potencial, energía cinética, gasto volumétrico

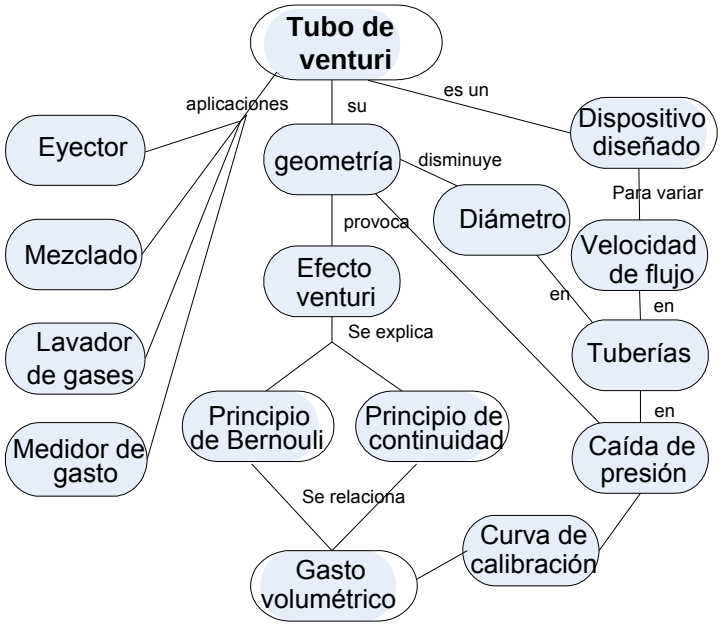


Fig. 1. Mapa conceptual primera versión grupo A de alumnos

Por último, se evaluaron los reportes antes aludidos, dándole especial atención tanto a las conclusiones como a la versión final del mapa conceptual.

La Fig. 3 muestra la versión final del mapa; en ella se observa la inclusión de las ecuaciones pertinentes para que les fuera más fácil memorizarlas.

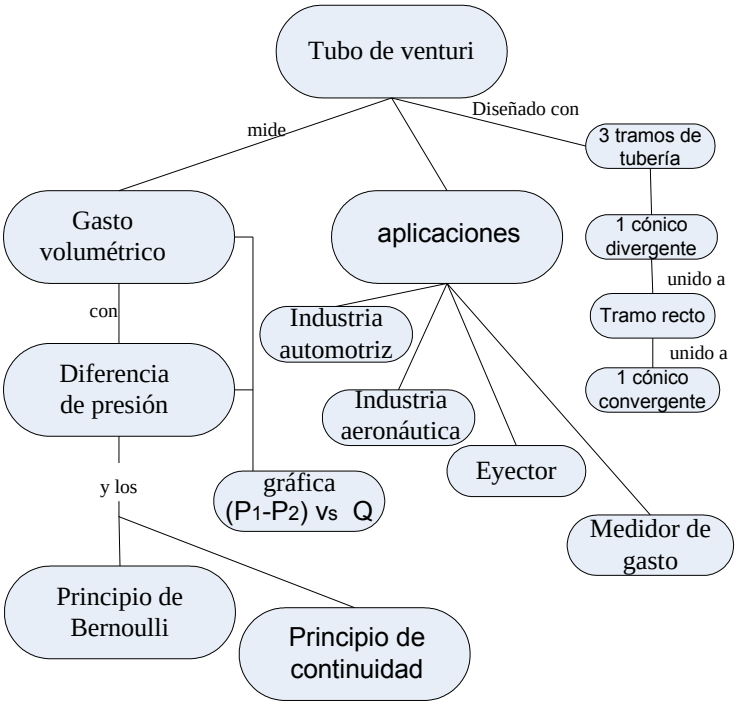


Fig. 2. Mapa conceptual primera versión, grupo B de alumnos.

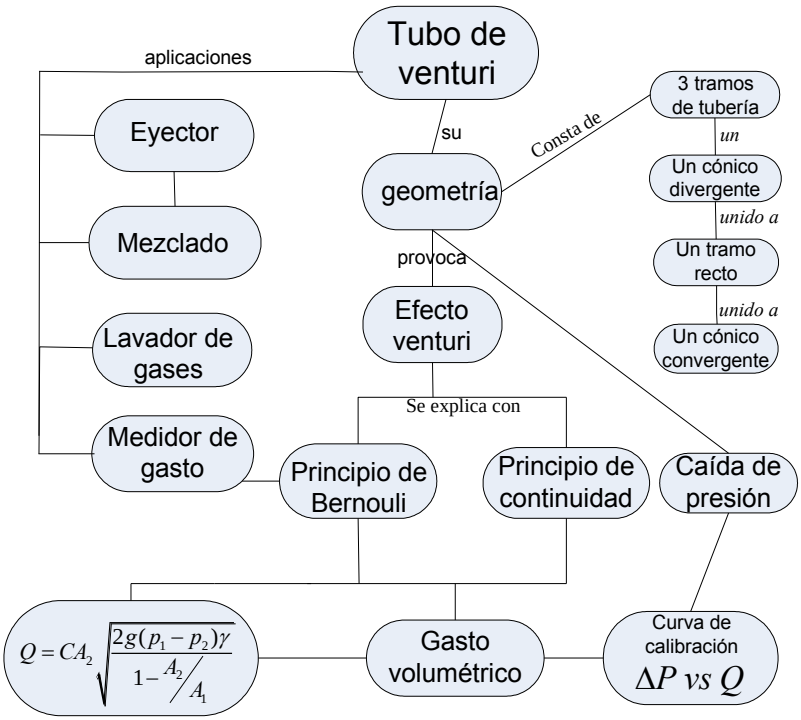


Fig. 3. Mapa versión final grupo A y B.

Conclusiones

Esta experiencia se comparó con el proceso enseñanza aprendizaje realizado en otros trimestres con la misma UEA, en los que no se empleó la herramienta de los mapas conceptuales. De esta comparación se concluye que:

1. El uso de los mapas conceptuales y las discusiones grupales permitieron que los alumnos compartieran sus conocimientos, sus dudas y aciertos, así como la homogenización del conocimiento.
2. Si el mapa ha sido confeccionado por los alumnos, la comprensión, al menos hasta el nivel de estructuración a que haya llegado, queda asegurada.
3. Las coreografías didácticas fueron de gran ayuda en la planeación y seguimiento de la experiencia.
4. Al final, una sesión de preguntas y respuestas verbales con los alumnos permitió evaluar sus vivencias.
5. Les quedó claro qué es un mapa conceptual, y les resultó más o menos fácil aplicar la técnica.
6. Entendieron mejor la información que tenían que aprender.
7. Los alumnos se involucraron más en los trabajos de las prácticas, y se integraron mejor como grupo de tarea.

Al inicio de la experiencia, alrededor del 10% de los alumnos mostraron resistencia hacia el uso de los mapas conceptuales en la UEA mencionada, porque creían que no les serviría, o que les podían ocasionar errores. Fue necesario invertir más tiempo del previsto en la explicación de lo que son los mapas conceptuales, su construcción y sus bondades.

Referencias

[1] Novak, JD, & Gowin, DB (1984). Learning How to Learn . New York, NY: Cambridge University Press

[2] Mintzes, J. J., Wandersee, J., & Novak, J., (Eds.). (1998). Teaching Science for Understanding A Human Consctructivist View. USA: Academic Press.

[3] Kharatmal Meena & Nagarjuna G., Homi Bhabha: (2006) A Proposal to Refine Concept Mapping for Effective Science Learning. Centre For Science Education (TIFR), India, of the Second Int. Conference on Concept Mapping

[4] Karmiloff-Smith, A. (1995) Beyond Modularity: A Developmental Perspective on Cognitive Science. MIT Press, USA

[5] Oser, F. K., & Baeriswyl, F. J. (2001). Choreographies of teaching: Bridging instruction to learning. In V. Richardson (Ed.), Handbook of Research on Teaching, – 4th ed. Washington: American Educational Research Association.

[6] Programa analítico (Unidad Enseñanza Aprendizaje) UEA LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS I. Departamento de Energía. División Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 102. Volumen 4(6), 4 páginas

LOS AMBIENTES DE APRENDIZAJE Y EL AUTOCONCEPTO

Jacqueline Arzate Gordillo[1], María del Rosario Rocha Bernabé[2], Elena Fabiola Ruíz Ledesma[3]

Resumen

Dado el impacto de la baja autoestima y poca motivación en el desempeño escolar, se han buscado nuevos mecanismos, estrategias y materiales didácticos, que impulsen a las primeras. Haciendo uso de la computadora, con la ayuda de sonidos, imágenes fijas y en movimiento, se mejora el concepto que tiene de sí mismo un individuo, se enseña al usuario a plantearse metas, a lograrlas, modificar conductas y creencias, se le prepara a la relajación y concentración para finalmente, llevarle a un estado emocional óptimo con el que comenzará el estudio de una asignatura técnica, haciendo uso de mapas mentales, ejercicios interactivos y figuras animadas. El resultado es un material didáctico que despierta el interés del alumno por erradicar creencias de sí mismo falsas que lo limitan, así como proporcionar de una manera amena los conocimientos de una asignatura técnica.

Palabras clave: autoestima, material didáctico, programación neuro-linguística.

Abstract

A new mechanism to elevate the self esteem and low motivation is presented. The used mechanism is by using computer generated sounds, static and animated images, in order to improve the self concept. The user learns to establish and reach goals, to modify beliefs and alter behavior. The user learns to relax and concentrate in order to have an optimal emotional state to start the study of a technical subject. The results are a didactical material that wakes the student's interest on eradicate false self-beliefs and provide an enjoyable way to acquire knowledge on a technical subject.

Keywords: Self-esteem, Didactical Material, Neuro Linguistic Programming

Introducción

Hay alumnos automotivados, que reaccionan positivamente al mínimo estimulo, y otros que parece prácticamente imposible arrancarles un mínimo de ilusión hacia la tarea de aprendizaje. También podemos hablar de docentes que se suman entusiasmados a cualquier iniciativa y docentes tremendamente remisos a incrementar sus esfuerzos. Pero ¿Qué factores mantienen a las personas motivadas?, ¿Podríamos encauzar como docentes al alumno a una automotivación? La respuesta a estas preguntas las encontramos en una de tantas herramientas que constituyen la *Programación Neurolinguística (PNL).*

La PNL nos invita a probar un cambio de paradigmas en la forma de ver la vida, como es el caso de plantearse objetivos en afirmativo para aumentar la motivación y alcanzarlos. Esto es, es más fácil acercarse a lo que se quiere, que alejarse de lo que no se quiere. Ejemplo [1]: La disposición hacia el estudio de un alumno puede manifestarse, según lo dicho, mediante las dos fuentes de motivación: "Voy a estudiar para no reprobar", o "voy a estudiar para entender y sacar un sobresaliente". En ambos casos, cuando haya transcurrido media evaluación y el promedio de las notas haya sido aprobado (quizás con la mínima), el primer alumno podrá remitir en su esfuerzo (ya que será menos probable que repita el curso), mientras el segundo lo va a incrementar (pues logra ver el sobresaliente a su alcance).

Por otro lado, tratándose de la autoestima, un alumno con un autoestima elevada, tiende a plantearse objetivos cada vez más altos, con una alta probabilidad de éxito, en contraparte con aquel cuya autoestima se encuentra deteriorada. Dado que la autoestima puede definirse como el conjunto de creencias que tenemos sobre nosotros mismos, constantemente enriquecidas por nuestras experiencias de vida, un estudiante que logra en más de una vez lo que se propone, reforzará su nivel de autoestima.

[1-2-3] Escuela Superior de Cómputo-IPN, Av. Av. Juan de Dios Batíz, s/n. México, D.F., 07738. México. Tel. 55 57296000. E-mails: 1 jarzate@ipn.mx, 2 rrocha@ipn.mx, 3 elen_fruiz@yahoo.com.mx

En caso contrario, aquel estudiante que experimenta "fracaso" tras "fracaso", alimentará una autoestima pobre, que lo concretará a creer que "no puede aprender, que es muy difícil o a veces imposible sacar los proyectos académicos solo, que no sirve para tal o cual cosa". Ambos alumnos actuarán en consecuencia, estableciendo metas cada vez más altas o bien limitando su potencial, respectivamente.

Para inducir al alumno a mejorar su autoestima y motivación, primero hay que invitarlo a cambiar de creencias sobre sí mismo, muchas de sus limitaciones o problemas están originadas por falsas creencias sobre un autoconcepto. Si bien, es importante que el individuo reconozca sus limitaciones actuales, nunca debe perder de vista que tiene el potencial para cambiar su circunstancia. El primer paso es imaginarlo y creerlo.

La mejor manera de hacerlo es usando, a juicio de la PNL, pensamientos y lenguaje positivo, así como una recreación de escenas mentales donde se involucre a todos los sentidos, que sirvan para evocar estados emocionales agradables, que con el tiempo y el efecto repetición impulsen al estudiante a creer inconsciente y conscientemente que es posible lograr sus más grandes metas. Las escenas agradables traídas en forma de fantasías llevan al individuo a estados emocionales gratos y motivantes, idóneos para el aprendizaje y desarrollo de potencialidades. La PNL también enseña e invita como establecer objetivos bien elaborados, que aumenten la probabilidad de ser alcanzados, y refuercen a su vez la autoestima.

Aprovechando las bondades de los ambientes virtuales de aprendizaje, de las tecnologías de la información y las comunicaciones, buscamos crear materiales didácticos interactivos que primeramente adiestren al alumno a practicar cambios de lenguaje y pensamientos, le presenten la información sea técnica o no de una asignatura específica en forma interactiva, que despierte interés en él por revisarla y "navegar" en ella.

De los resultados de una encuesta realizada a una población de alumnos a la mitad de la carrera de Ingeniero en Sistemas Computacionales de la ESCOM-IPN, se observó que en más del 80% de los casos, los estudiantes se encuentran motivados por revisar y estudiar en materiales didácticos interactivos, más que en la literatura convencional. Definitivamente nuestros estudiantes de hoy nacieron en la era digital, del Internet, del ipod, iphone, blue ray, etc. Por lo que aprovechando esta forma nueva de comunicación y manejo de información podemos generar materiales didácticos atractivos al joven de hoy en día, acordes a la forma en que los estudiantes del siglo XXI gustan de proveerse de información y comunicarla. Aulas virtuales [5] y materiales didácticos que no solo contengan texto y formulas como cualquier libro, también sonidos, imágenes en movimiento y juegos interactivos que estimulan todos los sentidos.

En cuanto a estimular todos los sentidos, hoy en día sabemos que hay jóvenes visuales, quienes aprenden más a través de imágenes, otros son más auditivos y aprenden más por lo que escuchan y no tanto por las imágenes y otros son sensoriales o kinestésicos, esto quiere decir aprenden más por el gusto, olfato, tacto e incluso a través de sus emociones. Actualmente con la ayuda de software de cómputo es posible estimular a toda forma de aprendizaje en los estudiantes, haciéndolo más fácil y motivante. Definitivamente los materiales didácticos interactivos están cada vez ganando más adeptos.

Metodología

Con la PNL se hace posible reforzar el autoestima y la asertividad, resolver limitaciones como fobias, compulsiones y miedos irracionales. Esto es, encontrar los propios recursos interiores para solucionar los conflictos y alcanzar metas, así como cambiar las creencias que limitan, enfocando el pensamiento y la acción hacia el éxito.

Si aprovechamos las ventajas que ofrecen las imágenes en movimiento, sonidos e interactividad, para los alumnos visuales, auditivos, sin dejar fuera a los kinestésicos, estudiar una asignatura puede resultar más estimulante.

En la ESCOM se han elaborado diversos materiales didácticos interactivos, hoy se cuenta con uno que incluye una sección para cambiar creencias y establecer objetivos alcanzables, exhortando al usuario a cambiar paradigmas, a simplemente probar otras opciones de pensamiento, más que a demostrarlas, a ver la diferencia que marcan en su propia vida y estar abierto a los cambios. Nuestra misión es inducirlo y guiarlo a mejorar su eficiencia aprovechando todas sus capacidades y orientarlo a un desarrollo académico óptimo y una satisfactoria y plena vida profesional.

El material didáctico también enseña paso a paso a elaborar mapas mentales, a resolver problemas más bien como retos, un ejemplo de estos son los crucigramas interactivos incluidos.

La estructura del material didáctico se desglosa a continuación:

Dentro de la sección de OBJETIVOS personales se hace uso de un videoclip de dibujos animados (veáse Fig. 1), donde se le sugiere al usuario, antes de empezar las secciones técnicas, plantear un objetivo bien elaborado en base a 6 acciones concretas. Un objetivo o meta bien construida aumenta la probabilidad de éxito.

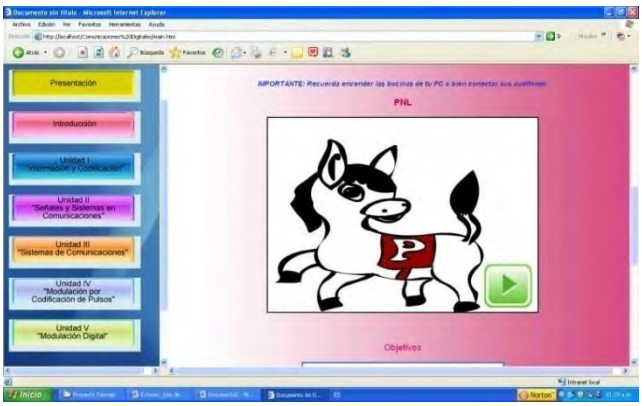


Fig. 1. Primera escena del videoclip de elaboración de objetivos bien estructurados.

Inmediatamente después, hay un videoclip donde se explica de manera animada cómo hacer mapas mentales. Este es un recurso que se utiliza y solicita al usuario a lo largo del material (vea Fig. 2).

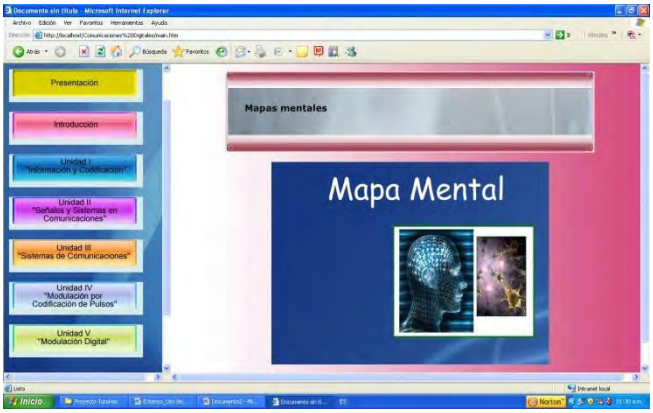


Fig 2. Primera escena del videoclip de mapas mentales

En cada unidad temática se incluye un video de relajación para llevar al estudiante a un estado adecuado que prepare su mente al estudio de la unidad.

Los sonidos de relajación que son parte del material interactivo, tienen como meta principal llevar al alumno a un estado de relajación que permita una condición emocional favorable para su concentración y por ende a un aprendizaje significativo. Finalmente a lo largo del material se incluyen alternadamente frases escritas y segundos de audio, que fomentan ideas positivas, las cuales buscarán condicionar al alumno a un estado emocional grato y de seguridad en sí mismo, estado en que se aprende y desarrolla con toda su capacidad el ser humano.

Conclusión o discusión

Parte de la formación integral del alumno que debe considerarse en las aulas, es la parte emocional relativa a su motivación y autoestima, por lo que en el modelo educativo actual, las estrategias y herramientas completas de aprendizaje serán las que consideren a este factor. Insistir al alumno acerca del potencial con el que cuenta, le llevará a fijarse objetivos cada vez más altos. La técnica más fácil que ha resultado eficiente en varios ámbitos es la programación neurolingüística, motivo por el cual se usa y recomienda para la creación de este y otros materiales didácticos.

En cuanto a resultados de facilitar a lo alumnos este material interactivo, a primera instancia ha sido satisfactoria, en el sentido de haber despertado interés en los alumnos, la diferencia que marca esta técnica en cuanto al número de aprobados y reprobados, se podrá reportar más adelante.

Referencias

[1] Serrat Albert. *PNL para Docentes del libro*. 2005. Barcelona, España.
[2] O'Connor, Joseph. *Introducción a la PNL*. 2004. Urano. México, D.F.
[3] Connirae Andreas, Steve Andreas. *Cambia tu mente para cambiar tu vida*. 1994. Gaia. Madrid, España
[4] CFIE. 2010. *http://www.diploformacion.cfie.ipn.mx*
[5] Chieche, Analia."Tomando opciones en la universidad: entre el aprendizaje presencial y a distancia". *Innovación Educativa* . Vol.10(52). Julio-Septiembre 2010. pp 46-48
[6] Chiari ,C.A.."Identidad y autoestima". Psicología. Vol. 35. Mayo 2003

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 115. Volumen 4(6), 4 páginas.

GESTIÓN DEL CAPITAL INTELECTUAL PARA GENERAR PRODUCTIVIDAD CIENTÍFICA EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR PÚBLICAS.

Eduardo Bustos Farías[1], Luz del Carmen Morán Bravo[2], Sofía Álvarez Cano[2] , Blanca Estela Alemán Núñez[2]

Resumen

El propósito de esta investigación fue desarrollar un modelo que determinara la importancia de la Gestión del Capital Intelectual en la generación de Productividad Científica en Instituciones de Educación Superior Públicas, en especial, el caso de la Escuela Superior de Cómputo (ESCOM) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Se siguió una estrategia metodológica de carácter cualitativo a través de entrevistas a profundidad de directivos, ex directivos, mandos medios y empleados de la institución, que fueron analizadas e interpretadas con el uso de la Teoría Fundamentada y del programa informático Atlas.Ti. El modelo resultante puede instrumentarse en un proceso de planeación estratégica a través de indicadores de gestión y el uso del cuadro de mando integral.

Palabras clave: Capital estructural-organizacional, capital humano, capital intelectual, capital relacional, economía del conocimiento, gestión, productividad.

Summary

The purpose of this research was to develop a model to determine the importance of Intellectual Capital Management in the generation of scientific productivity in Public Higher Education Institutions, in particular the case of the Escuela Superior de Cómputo (ESCOM), National Polytechnic Institute (IPN). It followed a qualitative methodological strategy through depth interviews with executive, former executives, managers and employees of the institution, which were analyzed and interpreted using Grounded Theory and the software ATLAS.ti- The resulting model can be implemented in a strategic planning process through management indicators and the use of the scorecard.

Keywords: Structural-organizational Capital, Human Capital, Intellectual Capital, Relational Capital, Knowledge Economy, Management, Productivity.

Introducción

El capital intelectual es la posesión de conocimientos, experiencia aplicada, tecnología organizacional, relaciones con clientes y destrezas profesionales que dan a la empresa una ventaja competitiva de mercado (Edvinsson y Malone, 2004) [2]. Es la suma del capital humano y el capital estructural que se divide a su vez en capital organizativo y relacional. Mientras que para Brooking (1997) [1], el capital intelectual hace referencia a la combinación de activos inmateriales que permiten funcionar a la empresa, compuesto por activos de mercado, activos de propiedad intelectual, activos centrados en el individuo y activos de infraestructura.

El entorno socioeconómico, político y educativo hoy en día, ha llevado a las Instituciones de Educación Superior (IES) a ser parte de la globalización y de la nueva economía del conocimiento. Por ello hoy en día el desarrollo de la investigación y su aplicación a través de la vinculación universidad - industria forma parte de este nuevo sistema de producción. Ya no es suficiente tener el conocimiento sino que ahora hay que usarlo para satisfacer las necesidades del sector público, privado y de otras instituciones educativas.

[1] Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Cómputo. Av. Juan de Dios Bátiz s/n esq. Miguel Othón de Mendizábal, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, México, D.F. Teléfono 5729-6000 Extensión 52051. E-mail: ebustosf@ipn.mx

[2] Universidad Tecnológica de Puebla. Camino a la Resurrección No.1002-A Zona Industrial Oriente. Puebla, Pue. México C.P.72300 Tel. (01 222) 309-88-87 E-mail: luz.moran@utpuebla.edu.mx

En el sector público los modelos de gestión del capital intelectual y de gestión del conocimiento juegan, cada vez más, un papel determinante para la formulación de políticas públicas. En particular, los departamentos académicos o institutos de investigación se encuentran en este ambiente dinámico resultante de nuevas demandas de comercialización del conocimiento, necesidades de uso más eficientes de sus recursos humanos, y por la introducción de nuevas medidas de contabilidad para su gestión [3].

Un modelo de gestión de capital intelectual determina la productividad científica que puede tener una Institución de Educación Superior en base a la buena administración de sus indicadores e insumos, el control de sus procesos y la retroalimentación en cada uno de sus elementos.

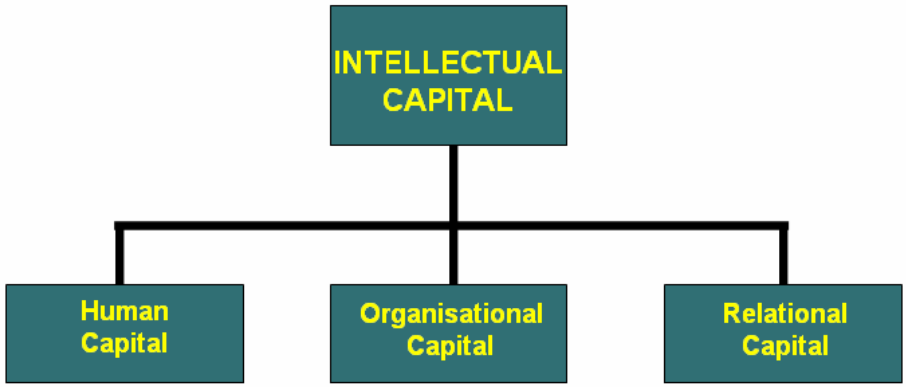


Fig. 1 Desglose del Capital Intelectual.
Fuente: Lugano (2006). *Methodological Guide*. Strategic Mangemet of University Research Activities. Europa EC Contract Number: CITI-CT-2003-506596

Metodología

Cabe mencionar que la investigación empleó el método cualitativo con auxilio del software de Atlas Ti para el análisis de las entrevistas a profundidad que se hicieron tanto a especialistas como a directivos en ejercicio de sus funciones.

Los factores para la selección de la muestra se basaron en el conocimiento experto en los temas de Educación Superior, Gestión de Instituciones de Educación Superior, Sociedad del Conocimiento, además de la experiencia en Gestión de Centros de Investigación en Computación o en la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, así como en ser actores de la misma.

Esto conllevo a la codificación y construcción de unidades hermenéuticas que permitieron explicar, por medio de un mapa conceptual subyacente, la identificación de los factores que intervienen en las competencias de los directivos de las Instituciones de Educación Superior. A partir de los primeros análisis fue surgiendo un modelo explicativo de los componentes del capital intelectual, de los procesos en los que impacta y de los resultados que influyen en la gestión de calidad en instituciones de educación superior. Así como una serie de indicadores de capital intelectual que pueden ser articulados a través de un cuadro de mando académico.

Así mismo, dada la orientación cualitativa del estudio y tomando en cuenta que la base metodológica está sobre informantes claves y expertos sobre la gestión de la educación superior, la muestra no puede ser representativa, sino sólo es una muestra típica de expertos e informantes claves.

Resultados

Este modelo representa las relaciones entre los diferentes elementos que componen la gestión del capital intelectual en instituciones de educación superior en el caso de la ESCOM del IPN, como son el capital humano, el capital estructural y el capital relacional consideradas como variables en un sistema de procesos que está conformado por tres etapas: insumos, procesos y resultados, además de la retroalimentación desde la fase de planeación estratégica hasta el control.

Dentro de los insumos referentes al Capital Intelectual son: capital humano, estructural y relacional. Para la ESCOM, el capital humano se refiere al conocimiento propio de su personal (profesores e investigadores, personal administrativo y alumnos). Este capital depende de dos elementos que son: la descripción de puestos y el análisis de puestos lo que coloca a las personas adecuadas en el puesto adecuado acorde a sus competencias y experiencia para el desempeño eficiente de sus funciones.

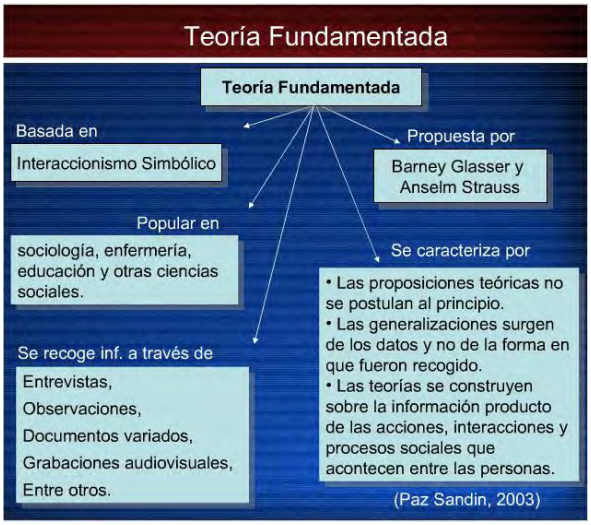


Figura 2. Teoría Fundamentada.
Fuente: Sandín E., M. P. (2003). *Investigación Cualitativa en Educación*. Fundamentos y Tradiciones. Madrid. Mc Graw and Hill Interamericana de España.

El capital estructural comprende todos los procesos formales y rutinas organizativas que van siendo sistematizadas y socializadas por la organización. Contiene los elementos del clima laboral, infraestructura organizacional, liderazgo e incentivos y becas, seguridad en el trabajo y redes informáticas logrando así alta productividad, el buen desarrollo de sus actividades cotidianas, el reconocimiento, motivación y facilidad para tener el trabajo a tiempo.

El capital relacional incluye las relaciones y redes de investigadores de toda la institución, en particular con el gobierno y las industrias, por lo cual contiene la comunicación y proyectos de investigación para obtener un beneficio dual, tanto para la institución como para los alumnos, al dar a conocer los proyectos que se realicen dentro de la ESCOM ofreciendo soluciones efectivas para atender a sus necesidades reales.

En la etapa del proceso se pretende obtener un análisis de la situación actual en la que se encuentra la ESCOM para poder realizar mejoras en base a los resultados de la evaluación por medio de estrategias.

Por último, la salida que es la generación de productividad científica, la cual se refiere a los resultados financieros, intangibles (propiedad intelectual, que incluye: patentes, marcas registradas y derechos de autor), entre otros más. A continuación se muestra en la Fig. 3 el modelo de gestión del capital intelectual.

Fig. 3. Modelo de Visión Estratégica para la Gestión del Capital Intelectual en la ESCOM del IPN.
Fuente: Elaboración propia basado Leitner, Karl-Heinz. (2004) Intellectual Capital Reporting for Universities: Conceptual Background and Application for Austrian Universities. Research Evaluation, 12 (2), 129-140.

Conclusiones

En el desarrollo de la planeación estratégica para el beneficio de las Instituciones de Educación Superior Públicas es importante considerar el análisis de cada uno de los componentes que integran el Capital Intelectual para generar Productividad Científica llevando a cabo una gestión eficaz mediante un equipo de trabajo con competencias reales, desarrollando nuevos modos de producción, fomentando la retroalimentación para poder construir un cuadro integral de mando que permita tomar decisiones estratégicas, operativas y tácticas.

Por lo tanto, es indispensable tener una visión estratégica la cual permitirá ver más allá, tener puesta la mirada en la oportunidad donde se presente una correlación entre la realidad cambiante del contexto y la dinámica de la organización. La optimización adecuado del capital humano, evitara el retrabajo, la duplicidad de funciones, tareas, pérdida de tiempo, por el contrario se busca aprovechar los recursos que generen un valor agregado de calidad a las Instituciones de educación superior y con ello al posicionamiento científico y desarrollo del país.

Referencias bibliográficas

[1] Brooking, Annie (1997). El capital Intelectual. El principal activo de las empresas del tercer milenio. Barcelona, España: Paidós.

[2] Edvinsson, Leif y Malone, Michael S. (2004). El Capital Intelectual. Cómo identificar y calcular el valor inexplotado de los recursos intangibles de su empresa. Colombia: Norma.

[3] Hellstrom, Tomas and Husted, Kenneth. (2004). Mapping knowledge and intellectual capital in academic environments: A focus group study. Journal of Intellectual Capital; 5, 1; BI/INFORM Global. pg. 165

[4] Leitner, Karl-Heinz (2004). Intellectual capital reporting for universities: conceptual background and application for Austrian universities. Research Evaluation, volume 13, number 2, august 2004. 129-140. Beech Tree Publishing.

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y COMPUTACIONAL (CIMEEM2011). Web:cimeem.com

27 al 29 de septiembre de 2011. Querétaro, Estado de Querétaro, México

MEMORIAS TÉCNICAS

(No. ISBN en trámite)

Trabajo arbitrado No. 116. Volumen 4(6), 5 páginas.

ANÁLISIS CUANTITATIVO Y CUALITATIVO DEL ESTADO DE QUERÉTARO PARA SER UNA CIUDAD DEL CONOCIMIENTO

María de los Ángeles Aguiñaga Villaseñor[1]

Resumen

Actualmente variables económicas conocidas como la productividad son resultado de la densidad y calidad entre las cooperaciones que se entrelazan en lo extraeconómico, en este ámbito, el territorio desempeña una función esencial, debido a que entra en el juego económico como matriz de organización e interacciones sociales. La colaboración social entre los diferentes grupos de un colectivo humano y el uso individual de las oportunidades surgidas a partir de ello, provocan un cambio, como en el caso de los elementos diferenciales de poder y control que, ahora, lo constituyen el desarrollo del conocimiento y sus diversas aplicaciones tecnológicas. Es necesario crear las condiciones propicias orientadas a reunir conocimientos efectivos así como a su movilización activa, incluido el territorio y espacio.

Palabras claves: activos tangibles e intangibles, ciudad del conocimiento, Desarrollo basado en conocimiento

Abstract

Now economic variables that are known as productivity are the result of density and quality, which are linked in the extra –economic scope, and in this, the territory plays an essential function because it becomes part of the economic dynamics as organizational matrix and social interactions. The social collaboration among the different groups of a human collective and the individual use of the opportunities that emerge from it, foster a change, like in the case of the power and control differential elements which is now constituted by the development of knowledge and its diverse technological applications. It is necessary to create the appropriate conditions oriented to collect effective knowledge, as well as its active mobilization, including territory and space.

Keywords: Tangible and Intangible, City of Knowledge, Knowledge-based Development

Introducción

Las ciudades y los sistemas urbanos han experimentado profundos cambios en las dos últimas décadas, reflejo del nuevo contexto estructural y de la diversa capacidad de respuesta mostrada por los actores locales para enfrentar tales retos.

Desde los años 50's, el estado de Querétaro ha fincado su desarrollo y crecimiento en la instalación de industrias [1]. No obstante, en la actualidad, existen nuevos elementos que son indicadores de desarrollo derivados ahora del dinamismo de parques industriales, el capital humano de centros de investigación e instituciones de educación superior y cluster aeronáutico, entre otros y la ciudad desarrolla recursos internos que al ser cada vez más específicos van haciéndose más complejos, valiosos, raros, insustituibles e inimitables [2].

Recursos intangibles como el conocimiento, cultura y vínculos de cooperación, entre otros, no se han estudiado a profundidad en la industria de la ciudad de Querétaro [3].

Objetivo

Analizar los activos de conocimiento, capital humano, identidad, diferenciación, instrumental y relacional entre otros, de un espacio territorial mexicano, como es el caso de Querétaro, México.

[1] Instituto Tecnológico de Querétaro. Av.Tecnológico s/n Esq. M. Escobedo Col.Centro C.P.76000 Querétaro, Qro. México. Teléfono 01(442)2 27 44 00, Fax 01(442)2 16 99 31. E-mail: ma_angeles_a@hotmail.com

Material

El gran contexto en el que se desenvuelve el conocimiento en una economía, es llamada economía del conocimiento (EC), ya que las interacciones entre la sociedad civil, empresas y gobierno producen una sinergia poderosa capaz de cubrir necesidades existentes hacia el beneficio común.

La sociedad crea nuevas estructuras, asimila y tiene la capacidad de apropiarse de ellas, de tal manera que genera ideas y avances tecnológicos, construyendo sociedades sostenidas en el conocimiento.

Estas sociedades cuya característica es el conocimiento edifican su economía en base a ese bien intangible, crean un valor añadido a sus productos y/o servicios, útil y cuantificable para la sociedad, el conocimiento entonces se convierte en la mayor riqueza e implanta bases para una mejor calidad de vida, lo que permite que ciudades, regiones y países sean capaces de fincar su desarrollo futuro en la gestión balanceada de todas las formas de valor social que posee.

Del desarrollo que las ciudades han vivido, nace la unión entre conocimiento y competitividad territorial que trae como consecuencia una expansión de ciudades definidas como ciudades del conocimiento (CCs), cuya característica es su capacidad para generar y añadir conocimiento en diversas formas de tecnología e innovación.

De manera específica, las CCs son la integración entre estudios de planeación urbana y la gestión del conocimiento.

Ya integradas, las CCs se convierten en medios innovadores concebidos como un conjunto territorial que posee una cultura histórica con un sistema claramente establecido de *cooperación y competencia,* generando como resultado un aprendizaje colectivo que conduce a la innovación.

La cooperación es entonces un nuevo elemento, donde numerosos puntos conectados se integran a una ciudad construyendo una *economía llamada de red,* donde para gestar conocimiento se demanda un contexto físico necesario y dependiente, en función de la cantidad y calidad de los individuos que participan, ellos interactúan y al hacerlo, se requiere una plataforma que se concibe como un hogar construido por tecnología futurista ya que debe soportar las necesidades de conectividad, computación, cooperación y coordinación de los ciudadanos de una ciudad que gesta todos los días conocimiento.

La capacidad de conectarse de una manera natural y autónoma entre entidades sociales y gubernamentales, así como de cualquier otra índole entre sí, estimula el intercambio e involucra la innovación, creando agentes (trabajadores) del conocimiento en las estructuras de una ciudad, ellos tienden a agruparse y convivir en el día a día, es parte de la cultura integrar en la comunidad a científicos, empresarios y sociedad civil, ya que tienen accesos a un sector físico definido de una ciudad, cuya característica es la cercanía de todos los actores que hacen posible el conocimiento.

A una ciudad del conocimiento se le integran indicadores relativos al enfoque de proceso con un equilibrio entre capital financiero y capital intelectual y puede ser analizada desde lo general, es decir que cubre todas las actividades económicas principales de la ciudad, hasta lo individual donde se establece con cada una de las actividades económicas relevantes de una manera particular y distintiva.

Asimismo las ciudades son estudiadas desde una estructura de valores en torno a la filosofía y comprensión del conocimiento como fenómeno natural humano, hasta su desarrollo, socialización y métrica de las dimensiones que éste posee.

Tomando como base el análisis anterior, se integra en un conjunto todo aquello que en el contexto donde se desarrolla una ciudad es importante para ella, a esa agrupación se le llama *universo de valor,* el cual se relaciona con el potencial de la ciudad y determina su competitividad futura.

Este universo es ordenado y catalogado dentro de una estructura llamada *sistema de capitales,* compuesta por activos intelectuales llamados valores, es importante para este análisis explicar, medir e identificar el peso de los activos para incorporarlos a un estado integral de valor.

Integrando los modelos y estrategias anteriores, se deduce que una ciudad deja de ser tratada como un simple objeto para adquirir por derecho propio una categoría económico espacial-autónoma.

Una ciudad para transformarse en CC requiere transitar por un proceso permanente de integración sinérgica-evolutiva [4], ya que esto es lo que asegura el camino hacia el desarrollo urbano sostenible, en la Fig. 1 se muestra una trayectoria de transición de una urbe hacia una ciudad del conocimiento.

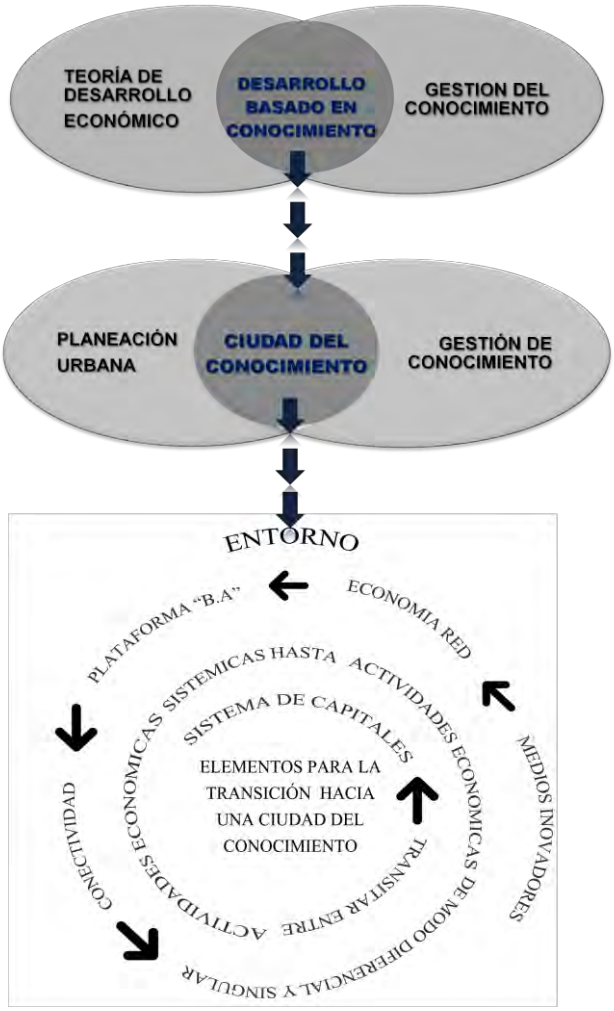


Figura 1, Proceso de transición hacia una ciudad del conocimiento
(elaboración de la autora)

Método de la investigación

El método *Delphi* es un instrumento que sistematiza de manera interactiva las predicciones expresadas sobre una problemática específica, éste se aplicará para obtiene el consenso de un panel de expertos.

En el caso de MAKCi [5] se han identificado tres rounds o vueltas que buscan obtener un resultado consensado:

- El round 1 recibe Nominaciones de Ciudades
- El round 2 vota por las Ciudades Finalistas.
- El round 3 vota por las Ciudades Ganadoras, en dos Categorías: Metrópolis de Conocimiento, Ciudades-Región de Conocimiento.

Como resultado de la investigación, la conversión de conocimiento en productos se traduce en un Reporte MAKCi (versión completa y resumen ejecutivo), con casos de Ciudades de Conocimiento como:

- 2009: Barcelona, Boston, Istanbul, Manchester, Melbourne, Montreal, Shenzhen & Valencia.
- 2010: en proceso…

Y otros casos muy enriquecedores de CCS: como ejemplo Monterrey. En la Fig. 2 se muestra el análisis cuantitativo que se realizará en esta investigación.

Figura 2. Análisis cuantitativo. Fuente: MAKCi 2010

La muestra

Se tiene información de dos años, 2009 y 2010, con 90 observaciones útiles.

La búsqueda disponible es acerca del experto, la posición de la ciudad y la evaluación de la ciudad en base a la propuesta de 8 capitales básicos.

El modelo que resultó ser mas adecuado y eficiente además de que deja muy clara la interpretación para llegar a la postulación de un índice es el modelo de regresión logística binomial múltiple, de donde:

La regresión logística analiza datos distribuidos binomialmente de la forma. El modelo tiene una formulación equivalente dada por

$$p_i = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x_{1,i} + \cdots + \beta_k x_{k,i})}}.$$

Esta forma funcional es comúnmente identificada como un "perceptrón" de una capa simple or red neuronal artificial de una sola capa. Una red neuronal de una sola capa calcula una salida continua en lugar de una función por pedazos. La derivada de *pi* con respecto a X = x1...xk es calculada de la forma general:

$$y = \frac{1}{1 + e^{-f(X)}}$$

donde $f(X)$ es una *función analítica* en X.

Conclusión

La ciudad de Santiago de Querétaro se encuentra entre las 86 ciudades estudiadas por el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO), el cual presenta el reporte de competitividad urbana 2010, que producen cerca del 80% del PIB nacional, concentran al 65% de la población, al 70% de la fuerza laboral del país y al 86% del talento nacional.

El crecimiento que obtuvo de 2006 a 2008, la posicionó como una ciudad adecuada en: seguridad, gestión de agua, sistema de transporte, oferta educativa, facilidad para hacer negocios, finanzas públicas y transparencia gubernamental.

Si Querétaro forma parte de las ciudades que concentra más del 80% del talento nacional, es importante analizar los capitales y su contexto, como fenómeno propio hacia una ciudad del conocimiento, motivo por el cual fue seleccionada para ser estudiada en esta investigación.

Industrias como la aeronáutica se han convertido en el principal referente a nivel nacional en el estado, con una proyección de crecimiento del 255% en los próximos tres años, generando alrededor de tres mil ochocientos empleos (Lara, 2010).

Referencias

[1] Méndez y Romeiro P. Las Ciudades del Conocimiento: Revisión crítica y posibilidades de aplicación a las ciudades intermedias. X Internacional de Geocrítica diez años de cambio en el mundo, geografía y en las ciencias sociales.
[2] Maldonado J. y A-Cruz A. O. Recursos intangibles en el desempeño de la industria de maquinados de México. Revista Venezolana de Gerencia [en línea] 2009, vol. 14 [citado 2011-01-23].
[3] Camagni, R. (2005). Economía Urbana. Antoni Bosch, Barcelona
[4] The Most Admiral Knowledge City. MAKCi (2011). Extraído de: http://www.worldcapitalinstitute.org/makci and http://www.worldcapitalinstitute.org/makciplatform/index.php

PÁGINA EN BLANCO

El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

Autores:Ings.Javier Antezana López, Damian Zeferino Noriega, P.Puerta Huerta, S.Villanueva Pruneda, Romy P.Romero

Propósitos de esta Investigación

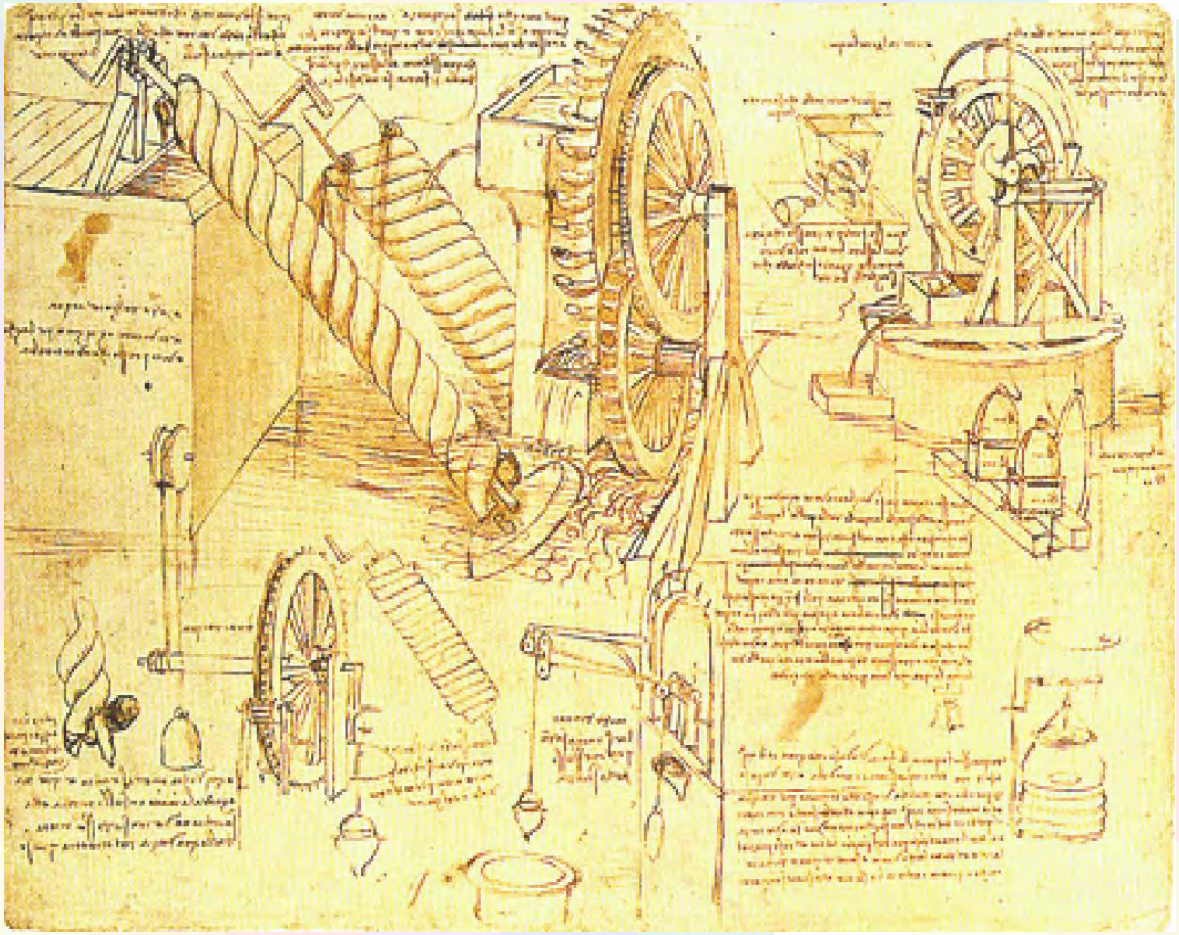
- Esta investigación tiene como propósito enriquecer el conocimiento existente de los engranajes en Buenos Aires.
- La divulgación de distintas fuentes de información, orientada a nuevos alumnos, profesionales noveles y empresarios.
- Dejar testimonio escrito sobre el inicio del diseño, fabricación y control de los engranajes.

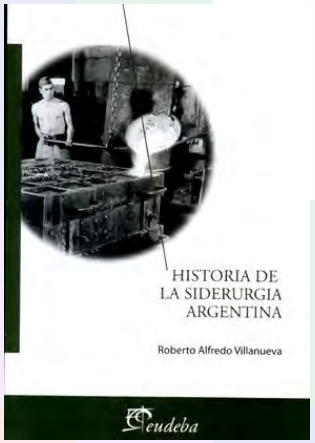
Análisis Final

Política de Desarrollo en este ámbito de la Industria Argentina

El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

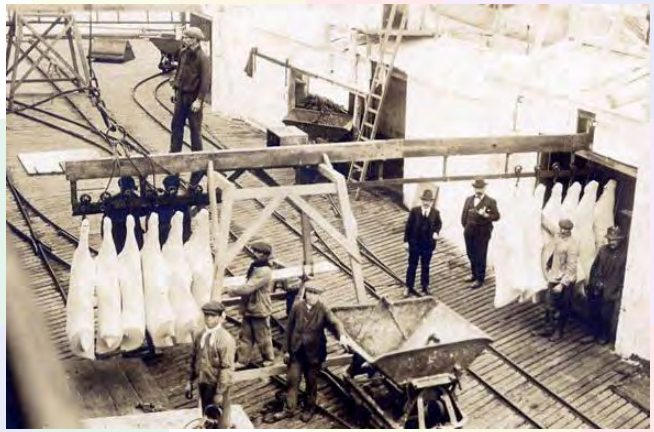
Introducción





El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

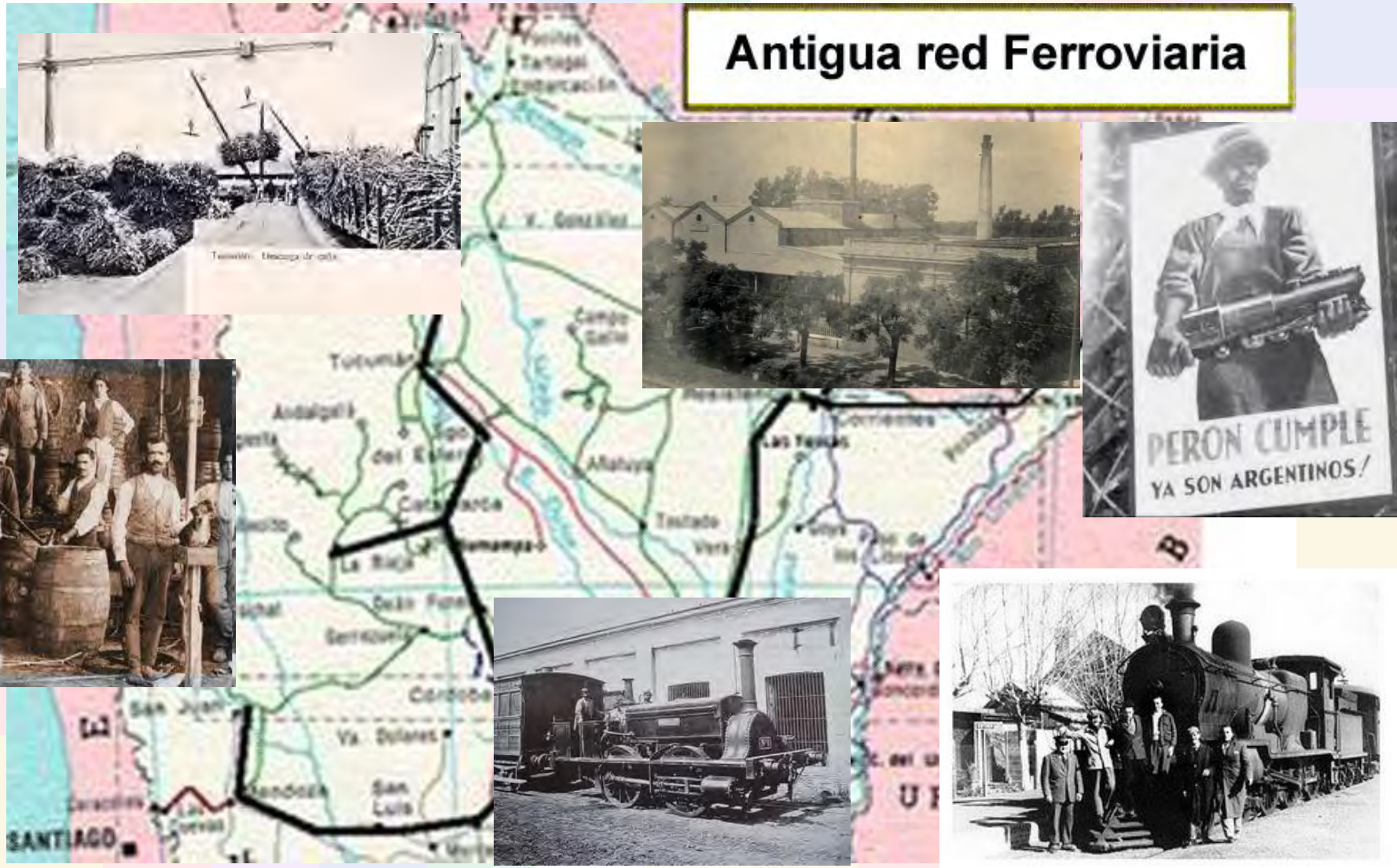
Los primeros pasos industriales en Argentina fueron los saladeros



Vista del Frigorífico La Negra, desde el Riachuelo.

El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

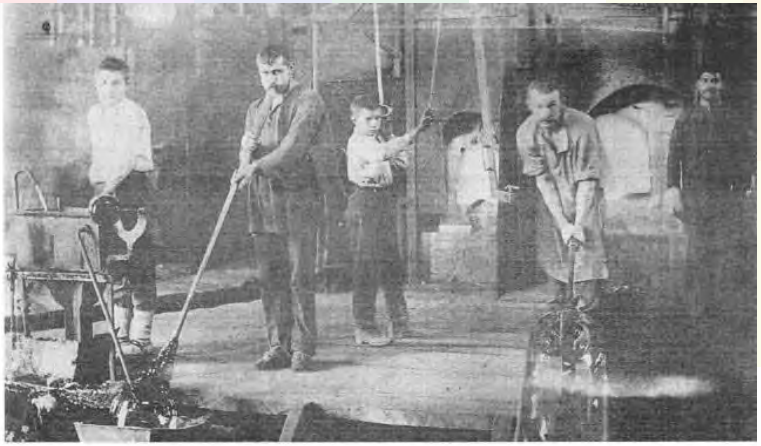
La red ferroviaria conecta distintos polos industriales del Interior



Autores:Ings.Javier Antezana López, Damian Zeferino Noriega, P.Puerta Huerta, S.Villanueva Pruneda, Romy P.Romero

El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

Se instalan a principios de Siglo las primeras Industrias básicas



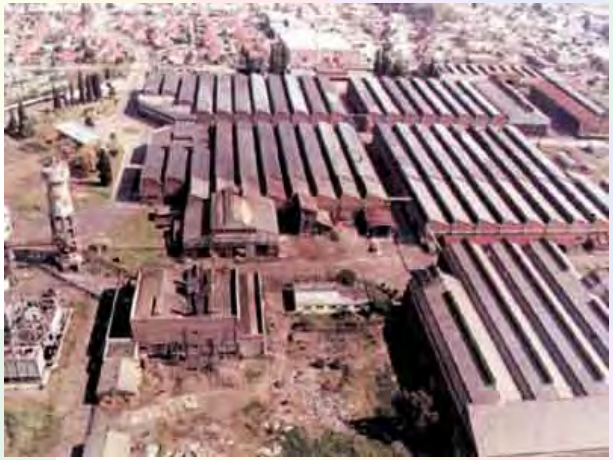
Vemos junto al horno al *garmín* que abría y cerraba la puerta del horno. El *levantador* que formaba la *posta* en la punta de la caña y los sopladores, uno de vidrio hueco y otro de *manchones* que luego se cortaban para hacer vidrio plano.

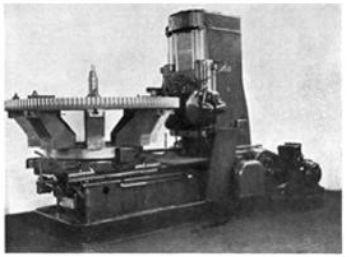
El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

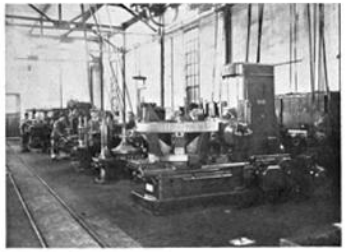
A partir de 1900 surgen importantes empresas fabriles

El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

Surgen importantes empresas que necesitan insumos industriales




MAQUINA FRESADORA DE ENGRANAJES HASTA 1.700 m/m. DE DIAMETRO


SECCION MAQUINAS FRESADORAS VARIAS

Autores:Ings.Javier Antezana López, Damian Zeferino Noriega, P.Puerta Huerta, S.Villanueva Pruneda, Romy P.Romero

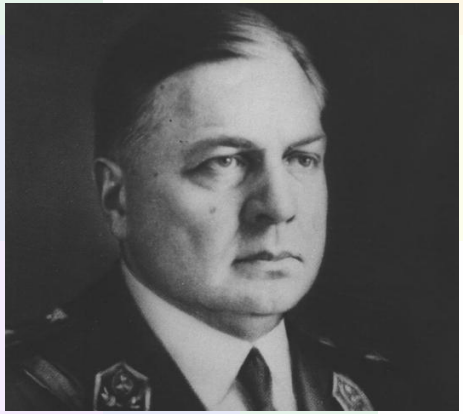
El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

En 1911 aparece elSr. Torcuato Di Tella y funda SIAM

Autores:Ings.Javier Antezana López, Damian Zeferino Noriega, P.Puerta Huerta, S.Villanueva Pruneda, Romy P.Romero

El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

En 1920 el Gral Mosconi asume presidencia Petrolera Nacional YPF



Autores:Ings.Javier Antezana López, Damian Zeferino Noriega, P.Puerta Huerta, S.Villanueva Pruneda, Romy P.Romero

El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

1929 - 2da Guerra Mundial

	Establecimientos		Obreros octubre 1935		Obreros junio 1936	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Desmotado de algodón	65	14,2	298	4,7	1.517	24,9
Aceites comestibles	9	2	789	12,4	858	14,1
Obrajes	40	8,7	1.917	30,1	843	13,8
Curtientes	12	2,6	1.288	20,2	1.070	17,5
Construcción	24	5,2	276	4,3	157	2,6
Panaderías	95	20,7	300	4,7	295	4,8
Resto	213	46,6	1.495	23,5	1.363	22,3
Total	458	100	6.363	100	6.103	100

El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

Las Instituciones de la Posguerra

Acindar
Aceros para la industria, el agro y la construcción.

Siderca
Tenaris Group

VASSALLI

Autores:Ings.Javier Antezana López, Damian Zeferino Noriega, P.Puerta Huerta, S.Villanueva Pruneda, Romy P.Romero

El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

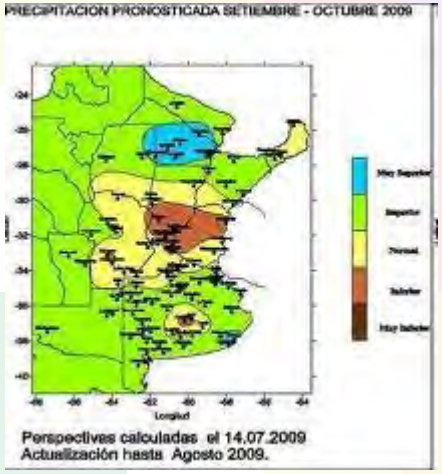
Las Instituciones de la Posguerra

Instituto Nacional de Tecnología Industrial

INTI

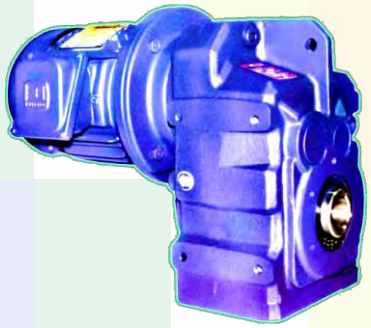
INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

CNEA ARGENTINA



El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

El Desarrollo de la Industria del engranaje



Autores:Ings.Javier Antezana López, Damian Zeferino Noriega, P.Puerta Huerta, S.Villanueva Pruneda, Romy P.Romero

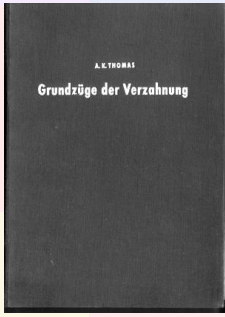
4to. Congreso Internacional de Ingenierías Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Mecatrónica y Computacional Querétaro - México

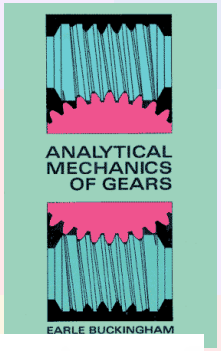
El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

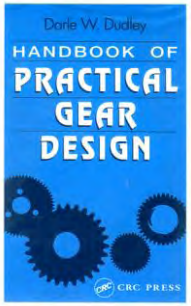
UTN Buenos Aires Argentina

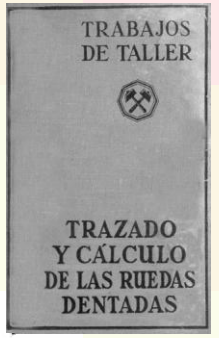
Profesionales Idóneos en Engranajes

Sr. Emilio Blanco Janeiro









Autores:Ings.Javier Antezana López, Damian Zeferino Noriega, P.Puerta Huerta, S.Villanueva Pruneda, Romy P.Romero México Septiembre 2011

El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

Profesionales Idóneos en Engranajes

Ing. José Luis Piña

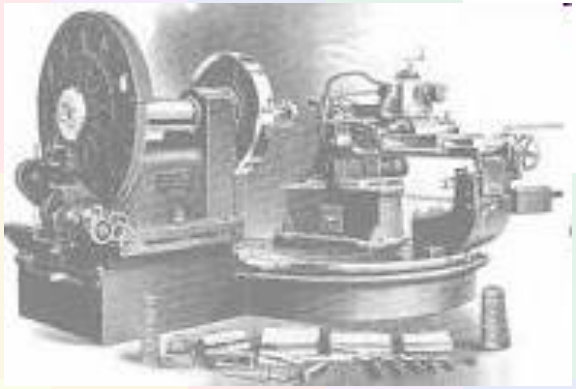
Estudio PIÑA
Asistencia Técnica en Transmisiones Mecánicas
KISSSOFT

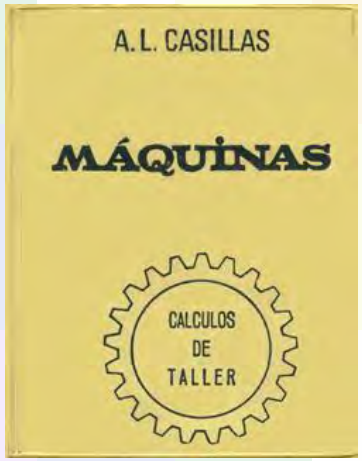
Autores:Ings.Javier Antezana López, Damian Zeferino Noriega, P.Puerta Huerta, S.Villanueva Pruneda, Romy P.Romero

El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

Profesionales Idóneos en Engranajes

José Schafer y Jesús Albor

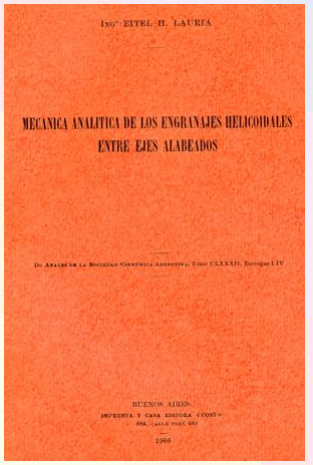




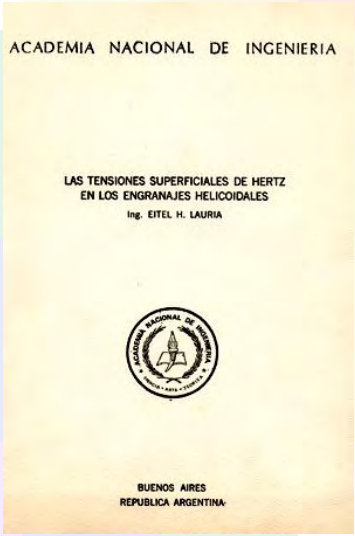
El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

Profesores Universitarios

Ing. Eitel Hernani Lauria



FUNDACION KONEX



Autores:Ings.Javier Antezana López, Damian Zeferino Noriega, P.Puerta Huerta, S.Villanueva Pruneda, Romy P.Romero

4to. Congreso Internacional de Ingenierías Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Mecatrónica y Computacional Querétaro - México

El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

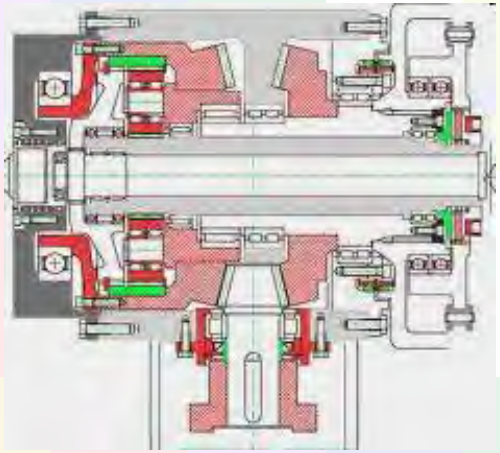
UTN Buenos Aires Argentina

Profesores Universitarios

Ing. Milutin Zuvela e Ing. Horacio Dubinsky

ENGRANAJES ZGR

TECNON GRUPO DE EMPRESAS



Autores:Ings.Javier Antezana López, Damian Zeferino Noriega, P.Puerta Huerta, S.Villanueva Pruneda, Romy P.Romero

México Septiembre 2011

El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

Empresas Fabricantes

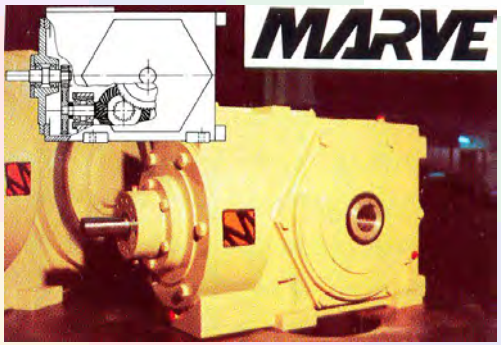
Fabbro Hnos SAIC

Autores:Ings.Javier Antezana López, Damian Zeferino Noriega, P.Puerta Huerta, S.Villanueva Pruneda, Romy P.Romero

El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

Empresas Fabricantes

Mercomarve SRL



Autores:Ings.Javier Antezana López, Damian Zeferino Noriega, P.Puerta Huerta, S.Villanueva Pruneda, Romy P.Romero

El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

Empresas Fabricantes

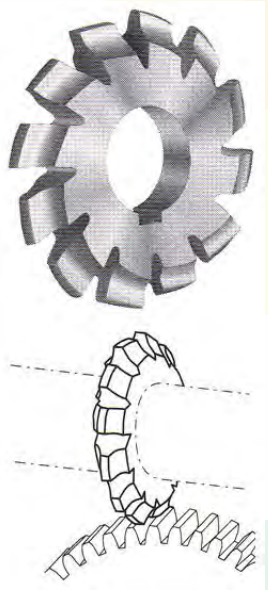
Hillmann S.A

Autores:Ings.Javier Antezana López, Damian Zeferino Noriega, P.Puerta Huerta, S.Villanueva Pruneda, Romy P.Romero

El Estado del Arte de los Engranajes en Buenos Aires

Empresas Fabricantes de Herramientas

El Faro Bianco S.A y Fabherco s.r.l



Autores:Ings.Javier Antezana López, Damian Zeferino Noriega, P.Puerta Huerta, S.Villanueva Pruneda, Romy P.Romero

CONCLUSIONES

- Repaso histórico del nacimiento de importantes empresas argentinas.
- Destacar a los personas relevantes de esta actividad.
- Proceso de delegación de Autoridades en estas empresas.
- Gran esfuerzo personal y dedicación de sus dueños.
- Varios docentes seguimos caminos de estudio y divulgación.

Agradecimientos

Muchas Gracias al Dr.Zeferino Damian Noriega por haberme Invitado, al Ing.Romy Romero por sus enseñanzas y a las Autoridades del Tecnológico de Querétaro por permitirme participar y colaborar en este Congreso.

Finalmente quiero expresar lo que siento por los engranajes:

- **Como resumen de geometría y diseño: Una Pasión**
- **Como problemática de mecanizado y control: Un Desafío.**
- **Como obligación de su divulgación a nuestros alumnos y operarios: Una Bendición.**

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Anna Friesel

Professor, Head of Electronics and Electric Power Sections

Copenhagen University College of Engineering

DENMARK

web: www.ihk.dk ; e-mail: afr@ihk.dk

Querètaro, Mexico, 29. September 2011.

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Our site in Ballerup

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

- **Copenhagen University College of Engineering** is the largest of its kind in Denmark.
- Founded in 1881, currently situated in Ballerup, 15km from the centrum of Copenhagen
- 42.000 m² of functional and beautiful buildings designed by the PLH Architects.
- The University College is neighbor to a high-tech industrial area and on the other a protected nature area with birds, wildlife and recreational activities.

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

- An average of 2000 full time students
- 120 professors
- 400 exchange students per year from more then 40 countries
- 450 students take evening classes to complete courses in continuing education

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

International cooperation and student exchange programs:

In Europe - SOCRATES-ERASMUS (since 1987) :

- to support the European activities of higher education institutions,
- to promote the mobility and exchange of their teaching staff and students.

Outside Europe – bilateral agreements.

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Engineering programmes taught in Danish

- Electronics and Computer Engineering
- Power and Energy Engineering
- Information and Communication Technology
- Engineering Design and Industrial Innovation
- Export Engineering
- Production and Innovation Technology
- Mechanical Engineering
- Civil Engineering

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Engineering programmes taught in English

- Electronics and Computer Engineering
- Information and Communication Technology
- Engineering Design and Industrial Innovation

One semester exchange programmes taught in English:

- International Business Semester (IBS)
- Innovation and Entrepreneurship Semester (IES)
- International Design Semester (IDS)
- European Project Semester (EPS)

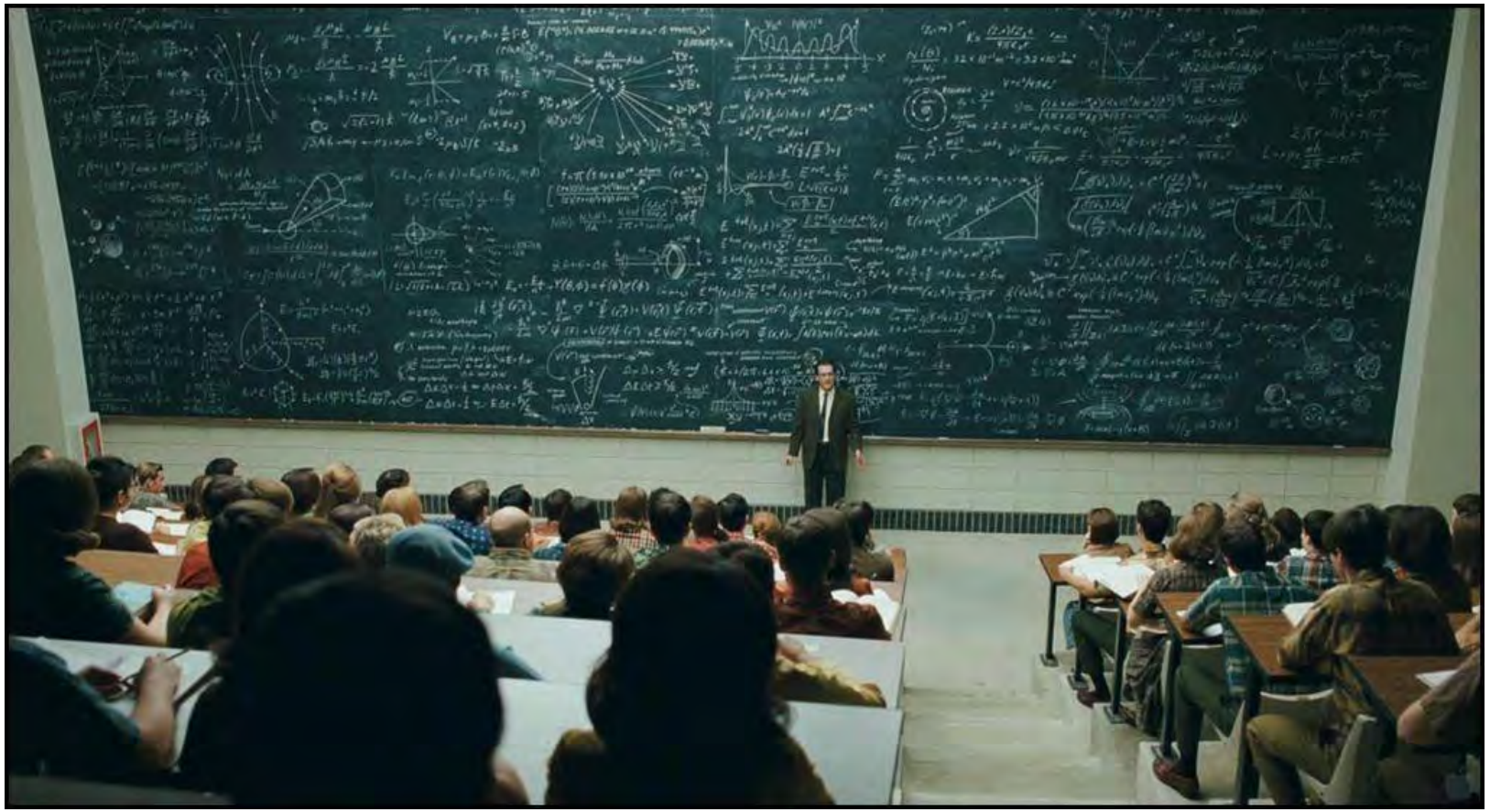
Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Summer Schools

- Mobile Communications and m-commerce
- From Local to Global Business
- Satellite Technology and Communications
- Innovation and Entrepreneurship
- International Engineering Project
- International Design Summer School
- Multimedia
- Marketing Across Cultures
- Intensive Danish Course

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Traditional math class:



Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Students after traditional math class:

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

…or

Interdisciplinary projects

A synergy between different disciplines

Problem **O**riented **E**ducation

Project **B**ased **L**earning

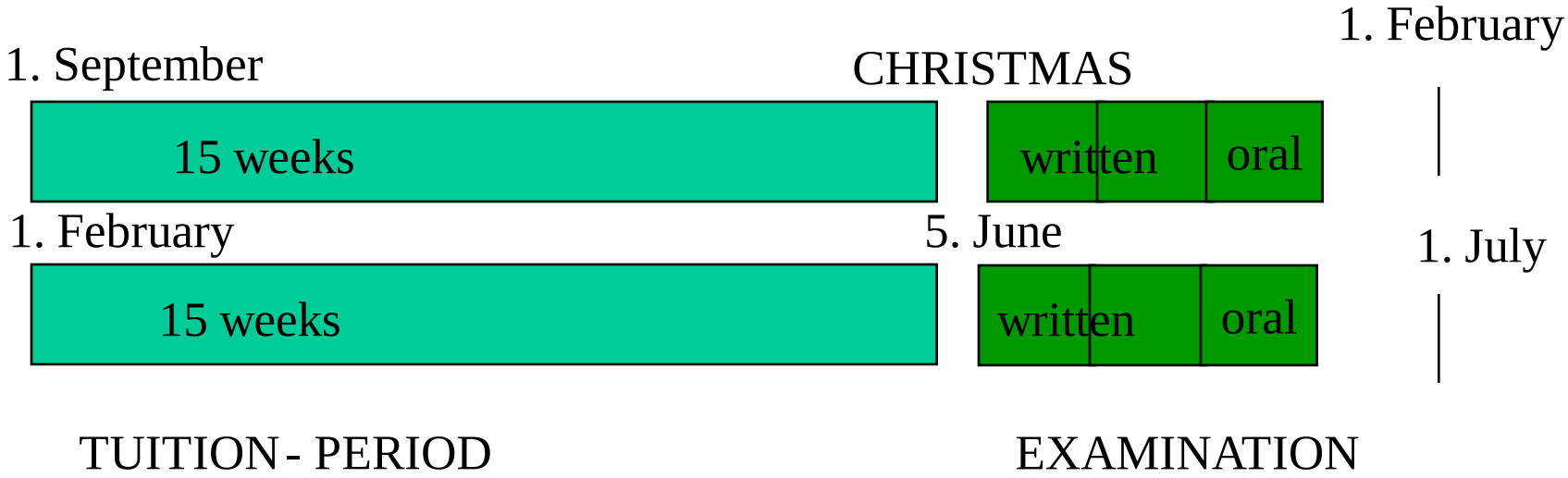
Teamwork

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

STUDY STRUCTURE

- The duration of the study is three and a half-year.
- Each year consists of two semesters.
- Each semester is divided in a tuition period and an examination period.

Semester-structure



STUDY STRUCTURE (cont.)

- The education is made up of study modules.
- The extent of study module is measured in ECTS credits.
- The workload of a semester is equivalent to study modules totalling 30 ECTS credits.

Weekly schedule-system

	Mo	Tu	We	Th	Fr
0830-1200					
1240-1600					

5 ECTS credits

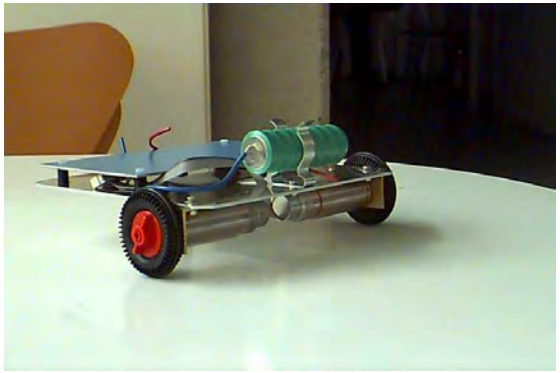
4 Contact hours
+
4 Self-tuition hours
a week

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

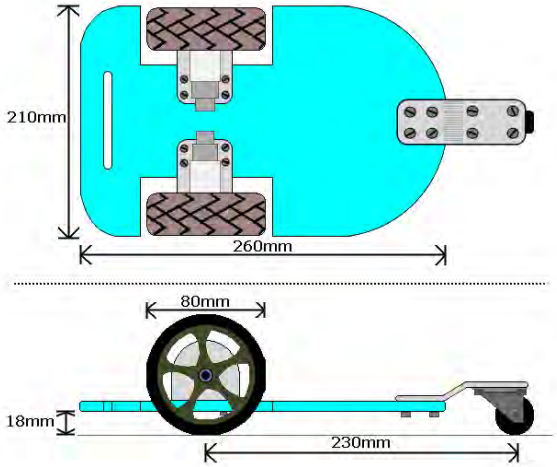
Control Theory in the Robot Project, the interdisciplinary course combining:

- mathematical modelling, system dynamics, control theory, digital and analogue electronics, and microprocessors,
- project: design of small ***autonomous robot,*** performing two tasks – compulsory and free task

The basic system for the robot



Custom made robot chassis



Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Students have to manage the following skills:

- To schedule their own effort during the project.
- To deal with engineering design problems, starting with the specification and finished with the working model.
- To deal with more than one solution to the design problem.
- To study new subjects independently.

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

- To keep agreements.
- To implement technical solutions into a working model.
- To communicate clearly both orally and in writing.
- To co-operate with others in the team

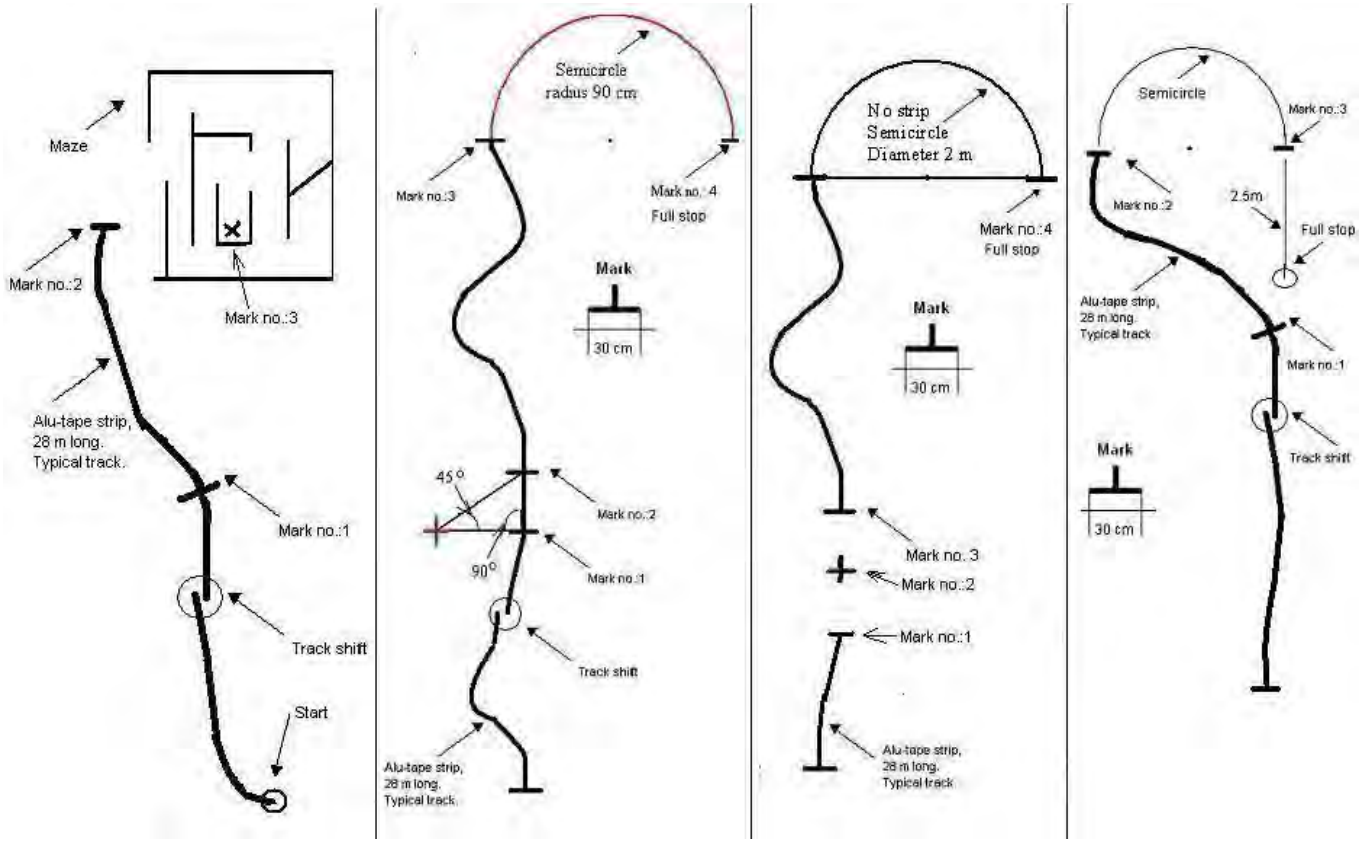
Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

The theoretical disciplines students learn during this course are:

- Mathematical modeling and dynamical systems.
- Continuous and digital control theory.
- Applied microprocessors and programming.
- Applied digital- and analogue electronics.

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Examples of compulsory tasks:



Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Project challenges the students to find individual solutions to engineering problems.

The “correct” solutions to the problems in the robot-project do not exist.

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Examples of free tasks:

- Master-Slave Robots.
- To find the heat source in a maze.
- To follow the wall at a certain distance.
- To follow the wall and send the information to the computer showing the path traveled by wireless communication.

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

The examination:

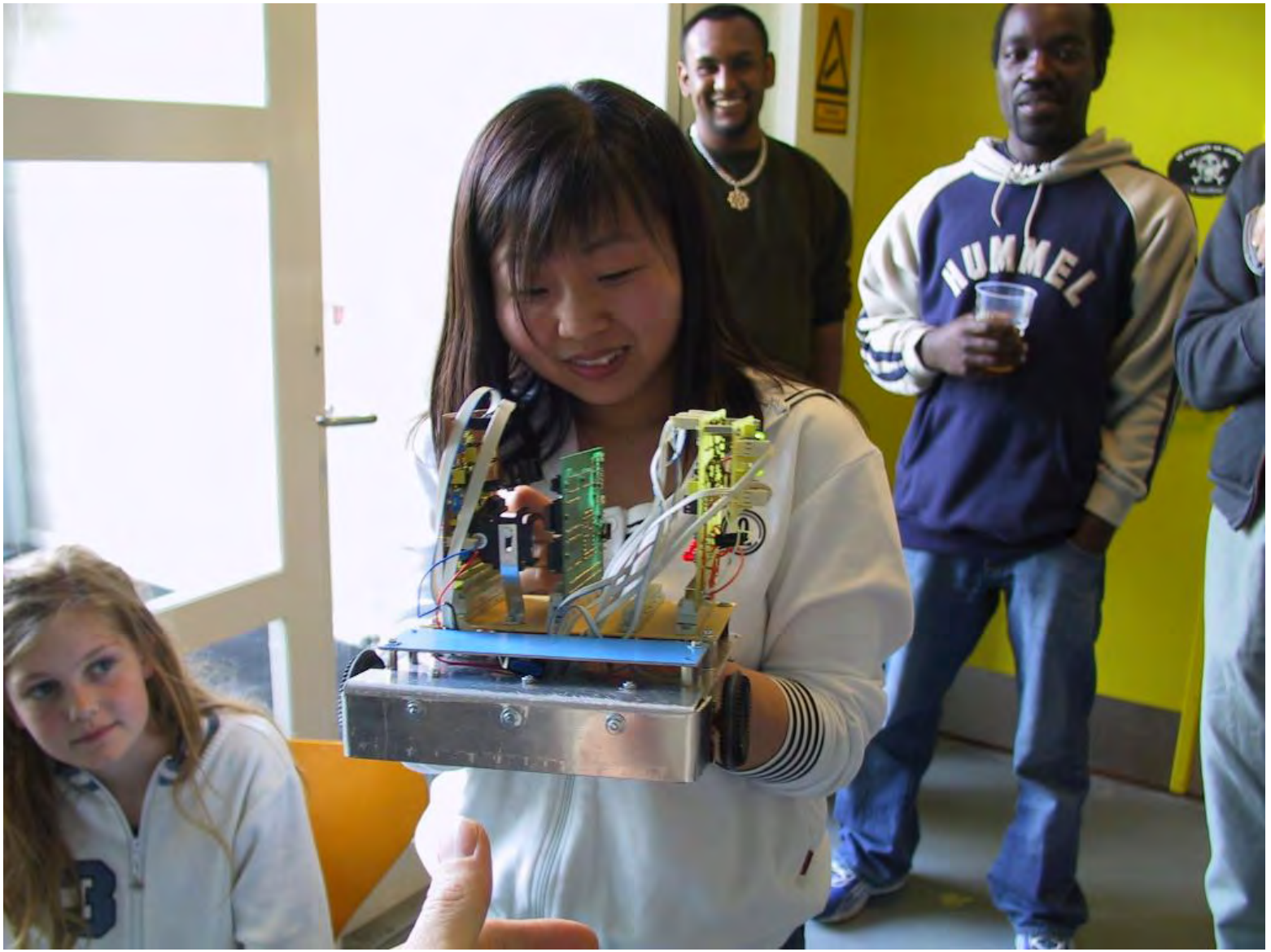
- practical demonstration of the robot
- team presentation
- individual examination

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

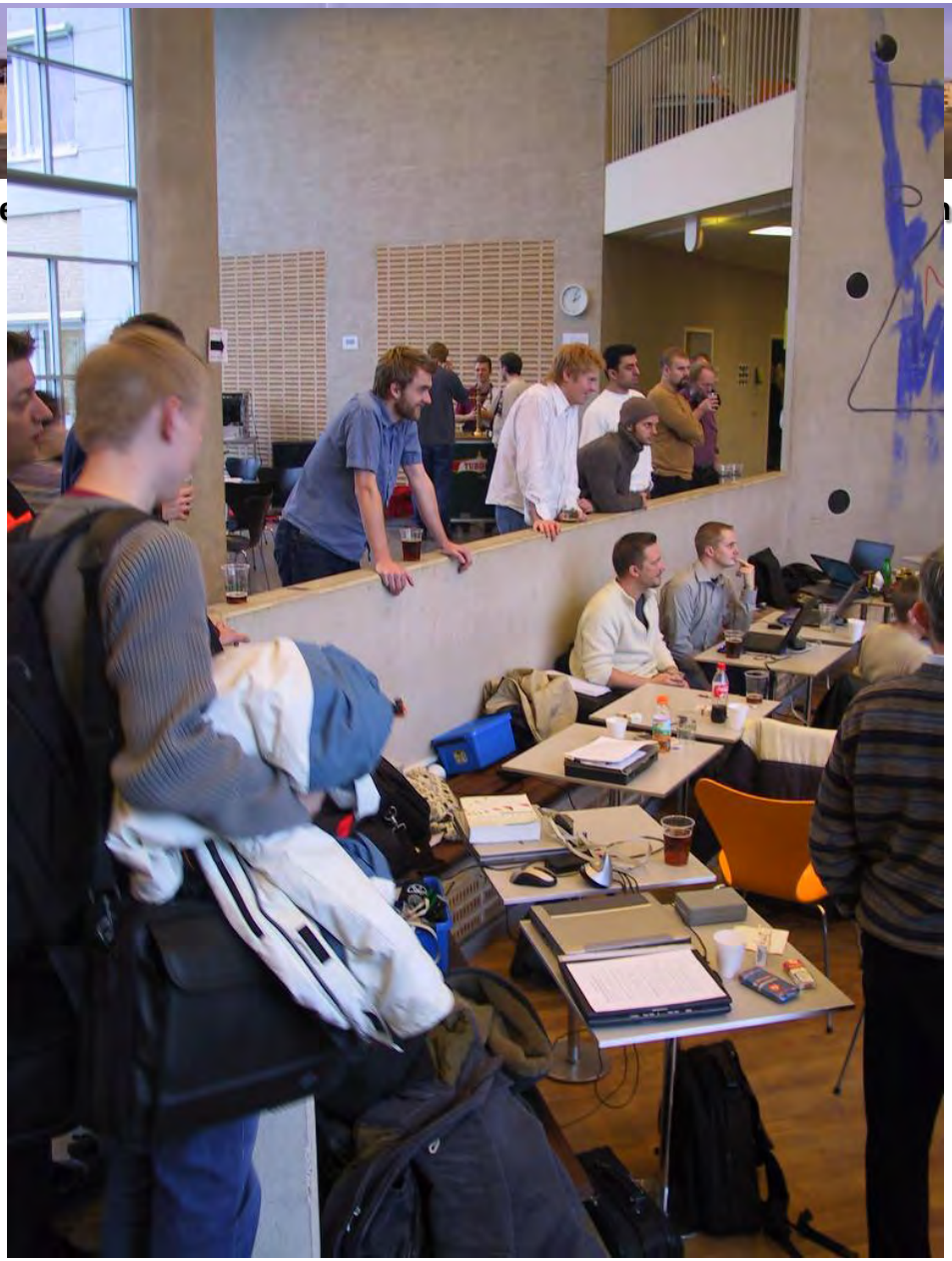
Robot Competition

- Family and friends are invited for the last day event
- All students/groups present their projects
- 3-STARS Competition

- The fastest robot ?
- The most precise robot ?
- The most elegant robot ?


HUMMEL

02/06/2008



Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Copenh dk

Copenha **k**

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

Copenhagen University College of Engineering, Denmark – www.ihk.dk

02/06/2008

Gracias por su atención!

Thank you for your attention!

PROGRAMA CIMEEM 2011

Hora	Martes 27 de septiembre	Miércoles 28 de septiembre	Jueves 29 de septiembre
7:00 - 8:00	**REGISTRO (Desde el lunes a las 17 horas)**		
8:00 - 8:30			**CONFERENCIA MAGISTRAL** "Sistema de Producción Japonés". Hitoshi Uraki JICA- Japón- México Gimnasio Auditorio
8:30 - 9:00			
9:00 - 9:30		**9:00 VISITA INDUSTRIAL** **BOMBARDIER** **CFE: Subestación Querétaro Potencia- Maniobras**	
9:30 - 9:45			
9:45 - 10:00	**INAUGURACIÓN** Gimnasio Auditorio **EXPOSICIÓN DE PROYECTOS STANDS (HASTA LAS 19 HORAS)** Carpa en las Canchas de Fútbol	**RECORRIDO A EXPOSICIÓN DE PROYECTOS**: 1er. Foro Juvenil de Ciencia, Tecnología y Desarrollo Social del Estado de Querétaro y Exhibición de Proyectos CIMEEM.	**9:00 VISITA INDUSTRIAL** **KOSTAL**
10:00 - 10:15		**EXPOSICIÓN DE POSTERS**	
10:15 - 11:00	**CONFERENCIA MAGISTRAL** "La Vinculación de las IES con la formación de los profesionales que requiere la Agenda Digital Nacional". Mtro. Pedro Solares Gimnasio Auditorio	**10:00 - 12:00 SEMINARIO MULTION** Adquisición de Datos y Procesamiento de Señales con MATLAB Sala Audiovisual 2	**CARRERA DE CUATRICICLOS** PONENCIAS EN DIFERENTES SALAS
11:00 - 11:15			
11:15 - 12:00	PONENCIAS EN DIFERENTES SALAS	PONENCIAS EN DIFERENTES SALAS	
12:00 - 13:00			**CONFERENCIA MAGISTRAL** "Preparing Engineering Students and Engineers for Globalization: How to work with projects in international teams". Anna Friesel (Dinamarca) Gimnasio Auditorio
13:00 - 13:30	**CONFERENCIAS** **Aplicaciones de la Mecatrónica en la Industria Farmacéutica en Europa.** Daniel Nottarp. ITQ. Sala de Usos Múltiples de la Biblioteca	**CONFERENCIAS** **Asociación Nacional de Normalización y Certificación del Sector Eléctrico.** ANCE. Sala de Usos Múltiples de la Biblioteca	**CLAUSURA** **PREMIACIONES** **PRESENTACIÓN DE CUATRICICLOS**
13:30 - 14:00	**Seguridad en Instalaciones Industriales** M. en C. Fernando Toledo. UAM Sala Audiovisual 1 **Protecciones y Pruebas a Equipos Eléctricos** Ing. Gilberto Segovia Molina. Pindus D.R.L. de C.V. Ciencias Básicas **Software y Tecnología Móvil, su Futuro, Oportunidad para México** Ing. Fernando Correa Velázquez director de Icon Systems. México Sala Audiovisual 2	**Desarrollo de Vehículos Eléctricos en la UAM (Tracto –Trolebus)** Dr. Ahmed Zekkourt Zekkourt.UAM. Sala Audiovisual 1 **Tendencias y Convergencias entre las Ciencias de la Computación y las Comunicaciones**. Dr. Miguel Santiago Suárez Castañón. Centro de investigación de Cómputo del Politécnico. Ciencias Básicas **Aplicaciones de Robots en la Industria. Robótica Industrial.** Jorge O. Baños López. México. Sala Audiovisual 2 **13: 00 VISITA INDUSTRIAL** **Universidad Aeronáutica en Querétaro (UNAQ)**	**ENTREGA DE RECONOCIMIENTOS Y MEMORIA**
14:00 - 15:00	**RECESO**	**RECESO**	**COCTEL DE CLAUSURA (PONENTES, EXPOSITORES DE STAND E INVITADOS ESPECIALES)** **EVENTO CULTURAL GRUPO MÉXICO, VOZ Y MAGIA. (ITQ)**
15:00 - 16:00			
16:00 - 17:00	**CONFERENCIA MAGISTRAL** "Engranajes" Dr. Javier Antesana López (Argentina) Gimnasio Auditorio	**CONFERENCIA MAGISTRAL** "Dotando de ojos a las Computadoras" Dr. Juan Humberto Sossa Azuela. CIC. México Gimnasio Auditorio	
17:00 - 18:00	**CONFERENCIAS** **Microcontroladores. Una Opción de Control.** Rubén Andrade Navarro. Solaris Digital. Sala Audiovisual 2 **Aplicaciones de la Mecatrónica en la Manufactura Industrial.** Ing. Axel Amézquita Lucio. Mondragón Assembly. Sala de Usos Múltiples de la Biblioteca	**TALLERES MARTES** **Implementación de clasificado para detección de rostros.** Ing. Bernardo Miranda Maya **Sala B — Centro de Cómputo** **Seguridad en productos Electrotécnicos.** M. C Diego Fernando Torres Rubio (ANCE) **F04** **Programación de dispositivos móviles con ANDROID**. Mtro. Rodolfo Romero Herrera (ESCOM- IPN) **Sala A — Centro de Cómputo** **Programación de dispositivos móviles con J2ME JAVA2 MICRO EDITION.** Ing. Ana Kalia Vallina Malagón (ESCOM- IPN) **Sala C— Centro de Cómputo** **Programación de PLC's Logo Siemens** Rubén Andrade Navarro (Solaris Digital) **Sala de Cómputo de Laboratorio de Electrónica** **Instrumentación Didáctica de Competencias** Dr. Héctor Hugo García Vega (UPIICSA-IPN) **Sala de Juntas de Laboratorio de Electrónica** **Taller CAD** Dr. Juan Carlos Rosete Fonseca (ITQ) **Aula CAD del Laboratorio de Ingeniería Industrial** **Taller CNC** Ing. Jorge Álvarez Servín (ITQ) **Aula CNC del Laboratorio de Ingeniería Industrial**	**TALLERES MIÉRCOLES** **Optimización del cálculo geométrico de engranajes a sin y corona** Dr. Javier Antezana López (Argentina) **F04** **Simulación de Celdas Solares Robotizada** Ing. Jorge O. Baños López (Robótica Industrial México) **Sala de cómputo del Laboratorio de Mecánica** **Introducción a VHDL.** Ing. Ricardo Luna Rubio (IEEE) **Sala A—Centro de Cómputo** **Microcontroladores.** Ing. Rubén Andrade Navarro (Solaris Digital) **Sala de cómputo del Laboratorio de Electrónica** **Visión artificial aplicada a la industria.** Dr. Rick Swenson Durie (ITESM Querétaro) **Sala B Centro de Cómputo** **Depuración de buses seriales.** Ing. Eloy Cabrera (Tektronix) **Sala C — Centro de Cómputo** **Taller CAM.** Ing. Jorge Rangel García (ITQ). **Aula CAD del Laboratorio de Ingeniería Industrial** **Programación de Robot.** Ing. Alejandra Árias San Elias (ITQ) **Aula CIM del Laboratorio de Ingeniería Industrial** **Estrategias de trabajo en equipo**. Mtra. Ana Friesel (Dinamarca) **Sala de juntas del Laboratorio de Electrónica** **19:00 - 20:00 EVENTO CULTURAL ITQ**	TOUR TURÍSTICO CENTRO HISTÓRICO DE QUERÉTARO (PONENTES Y CONFERENCISTAS MAGISTRALES)
18:00 - 18:40			RECORRIDO GUIADO
18:40 - 19:00	**EVENTO CULTURAL ORGANIZADO POR 1ER. FORO JUVENIL DE CIENCIA TECNOLOGÍA Y DESARROLLO SOCIAL DEL ESTADO DE QUERÉTARO.**		
19:00 – 20:00			
20:00 - 21:00			

4.2 PROGRAMACIÓN DE PONENCIAS Y CARTELES

4° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y SISTEMAS COMPUTACIONALES

DIA	HORARIO	SALA 1G	SALA 2H	SALA 3B	SALA 4CB	SALA 3	
MARTES 27	11:20 - 11:40	MECÁNICA 1	ELÉCTRICA 61	MECATRÓNICA 14	MECÁNICA 6	MECÁNICA 5	
	11:40 - 12:00	MECÁNICA 3	ELÉCTRICA 93	MECATRÓNICA 22	EDUCACIÓN 11	xxxxx	
	12:00 - 12:20	MECATRÓNICA 4	ELÉCTRICA 94	MECATRÓNICA 25	MECÁNICA 78	xxxxx	
	12:20 - 12:40	MECÁNICA 38	ELÉCTRICA 96	MECATRÓNICA 33	MECÁNICA 88	ELECTRÓNICA 66	
	12:40 - 13:00	MECÁNICA 54	ELÉCTRICA 97	MECATRÓNICA 49	MECÁNICA 89	MECATRÓNICA 75	23 PONENCIAS
MIÉRCOLES 28	9:00 - 11:00	EXPOSICIÓN DE CARTELES					
	11:00 - 11:20	MECÁNICA 39	ELÉCTRICA 87	SISTEMAS COMP 8	xxxxx	ELECTRÓNICA 105	
	11:20 - 11:40	MECÁNICA 52	ELECTRÓNICA 17	SISTEMAS COMP 10	EDUCACIÓN 92	MECÁNICA 109	
	11:40 - 12:00	MECÁNICA 67	ELECTRÓNICA 50	SISTEMAS COMP 18	ELECTRÓNICA 48	MECÁNICA 113	
	12:00 - 12:20	MECÁNICA 57	ELECTRÓNICA 19	EDUCACIÓN 26	ELECTRÓNICA 69	xxxxx	
	12:20 - 12:40	MECATRÓNICA 77	ELECTRÓNICA 30	EDUCACIÓN 29	EDUCACIÓN 71	ELECTRÓNICA 47	
	12:40 - 13:00	MECÁNICA 101	MECATRÓNICA 68	EDUCACIÓN 41	ELECTRÓNICA 70	xxxxx	27 PONENCIAS
JUEVES 29	10:00 - 10:20	MECÁNICA 73	ELECTRÓNICA 51	EDUCACIÓN 43	SISTEMAS COMP 15		
	10:20 - 10:40	MECÁNICA 83	MECÁNICA 53	SISTEMAS COMP 44	MECÁNICA 32		
	10:40 - 11:00	MECÁNICA 108	ELECTRÓNICA 60	EDUCACIÓN 65	MECÁNICA 80		
	11:00 - 11:20	EDUCACIÓN 115	MECÁNICA 117	SISTEMAS COMP 98	xxxxx		
	11:20 - 11:40	EDUCACIÓN 102	EDUCACIÓN 116	SISTEMAS COMP 99	MECÁNICA 82		
	11:40 - 12:00	MECÁNICA 81	ELECTRÓNICA 62	EDUCACIÓN 35	SISTEMAS COMP 23		23 PONENCIAS
	TOTAL						73 PONENCIAS
CARTELES		MECÁNICA 7	MECÁNICA 58	MECÁNICA 111	ELECTRÓNICA 74	SISTEMAS COMP 9	
		MECÁNICA 13	MECÁNICA 59	ELECTRÓNICA 21	ELECTRÓNICA 76	SISTEMAS COMP 24	
		MECÁNICA 16	MECÁNICA 95	ELECTRÓNICA 36	MECATRÓNICA 27	SISTEMAS COMP 64	
		MECÁNICA 40	MECÁNICA 103	ELECTRÓNICA 45	MECATRÓNICA 28	EDUCACIÓN 31	
		MECÁNICA 42	MECÁNICA 107	ELECTRÓNICA 63	MECATRÓNICA 34	EDUCACIÓN 91	
		MECÁNICA 56	MECÁNICA 110	ELECTRÓNICA 72	MECATRÓNICA 100		
	TOTAL						29 CARTELES
					TOTAL DE TRABAJOS		102

5.1 LISTA DE AUTORES (1/3)

No	AUTOR	INSTITUCIÓN *	TRABAJO	PÁGINA
1	AGÜERO ZAMORA VÍCTOR	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA. LIMA, PERÚ	ELO-105	477
2	AGUILAR OSORIO RITA	IPN - ESIME - SEPI ZACATENCO	MEC-78	173
	AGUILAR OSORIO RITA	IPN - ESIME - SEPI ZACATENCO	MEC-89	223
3	AGUIÑAGA VILLASEÑOR MARÍA DE LOS ÁNGELES	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	EDI-116	761
4	ALONZO GARCÍA ALEJANDRO	IPN - ESIME - SEPI - ZACATENCO	MEC-111	303
5	ANTEZANA LÓPEZ JAVIER	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES. ARGENTINA	MEC-86	205
6	ARCOS PICHARDO ARELI	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	MEC-113	313
7	ARROYO LEYVA JORGE HEYDRIK	IPN - ESIME - ZACATENCO	COM-15	609
8	ARZATE GORDILLO JACQUELINE	IPN - ESCOM	EDI-102	753
9	ASCENCIO MARTÍNEZ HUGO IVÁN	IPN - ESCOM	COM-64	653
10	AYALA AHUMADA VICENTE	UAM AZCAPOTZALCO	ELE-87	335
11	BARRERA NAVARRO AGUSTÍN	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	ELO-69	449
12	BATALLA GONZÁLEZ EDGAR SAID	IPN - CIDETEC	COM-24	637
13	BELEÑO SÁENZ KELVIN DE JESÚS	UNIVERSIDAD DE PAMPLONA. COLOMBIA	MET-75	547
14	BELTRÁN CARBAJAL FRANCISCO	UAM AZCAPOTZALCO	MET-68	537
	BELTRÁN CARBAJAL FRANCISCO	UAM AZCAPOTZALCO	MET-77	557
15	BERNAL YESCAS FRANCISCO	INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN	MEC-27	49
16	BUSTOS FARÍAS EDUARDO	IPN - ESCOM	EDI-115	757
17	CAMPOS CANTÓN ISAAC	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ	ELO-45	393
18	CARRANZA CASTILLO OSCAR	IPN - ESCOM	ELO-47	399
19	CASTILLO MEJÍA DAVID	UAM AZCAPOTZALCO	MEC-58	139
20	CASTILLO SÁNCHEZ MARTÍN D.	IPN - ESIME - SEPI. ZACATENCO	MEC-80	179
21	CHAGOLLA GAONA HERNANDO	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	ELO-72	463
22	CHAVARRÍA BÁEZ LORENA	IPN - ESCOM	EDI-31	693
23	COLÍN PÉREZ ANA LAURA	IPN - ESCOM	COM-10	601
24	CORNEJO GUERRA PAULO SERGIO	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	MEC-73	165
25	CORTÉS IBARRA MA. LOURDES	IPN - UPIBI	MEC-53	115
	CORTÉS IBARRA MA. LOURDES	IPN - UPIBI	ELO-30	381
26	CORTEZ OLIVERA R.	IPN - ESIME - ZACATENCO	EDI-29	687
27	CRUZ ALAVÉS ADRIÁN	UAM AZCAPOTZALCO	MEC-110	293
28	CRUZ GUZMÁN NORMA ALICIA	IPN - ESIME - ZACATENCO	COM-9	595
29	DE JESÚS ALCÁNTARA HILARIO	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	MEC-103	263
30	DEL CARMEN ADRIANA MELISSA	IPN - CICATA - QRO.	ELO-51	425
31	DEL RIO ROMERO RAUL A.	IPN - ESIME - ZACATENCO	MET-33	517
32	DELGADO ROMERO VÍCTOR MANUEL	INP - ESIME - SEPI AZCAPOTZALCO	MEC-67	157
33	DOMÍNGUEZ LÓPEZ IVÁN	IPN - CICATA - QRO.	ELO-63	429
34	DOÑU RUIZ MARCO ANTONIO	IPN	MEC-32	65
35	DZIUBINSKI MIECZYSLAW	LUBLIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	ELE-97	351
36	FERIA REYES CÉSAR VÍCTOR	IPN - ESIME - SEPI - AZCAPOTZALCO	MEC-59	147
37	GARCÍA CAÑEDO MARTHA OLIVIA	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA METROPOLITANA DE HIDALGO	ELO-76	471
38	GARCÍA LIRA JESÚS	IPN - ESIME - SEPI. AZCAPOTZALCO	MEC-82	191

5.1 LISTA DE AUTORES (2/3)

No	AUTOR	INSTITUCIÓN	TRABAJO	PÁGINA
39	GARCÍA MEJÍA JUAN FERNANDO	UAEM - ATLACOMULCO	ELO-60	3423
40	GARCÍA MIRANDA ALEJANDRO	TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE JOCOTITLÁN	MET-14	495
41	GONZÁLEZ MEDINA ÁNGEL MIGUEL	TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ECATEPEC	MEC-16	41
42	GONZÁLEZ SOSA JESÚS VICENTE	UNAM	MEC-38	71
	GONZÁLEZ SOSA JESÚS VICENTE	UNAM	MEC-39	79
	GONZÁLEZ SOSA JESÚS VICENTE	UNAM	MEC-40	87
43	GORDON SÁNCHEZ MANUEL	UAM AZCAPOTZALCO	MEC-95	239
	GORDON SÁNCHEZ MANUEL	UAM AZCAPOTZALCO	MEC-96	245
44	GUERRERO CARMONA JUAN CARLOS	IPN	MEC-42	97
45	GUTIÉRREZ ROJAS CÉSAR ALONSO	CIDESI - QRO.	ELO-19	365
46	HERNÁNDEZ PÉREZ MARCO ANTONIO	IPN - ESIME - ZACATENCO	COM-8	587
47	HERNÁNDEZ TORRES MAYRA	IPN - CICATA - QRO.	MET-34	525
48	HUERTA GONZÁLEZ PEDRO FRANCISCO	IPN - ESIME	MEC-54	119
49	JUÁREZ GARCÍA JORGE CRISTOPHER	CIDESI - QRO.	COM-18	617
50	KIERNICKI ZBIGNIEW	POLITECHNIKA LUBELSKA, POLAND	MEC-83	197
51	LARA VALDIVIA ARACELI	UAM AZCAPOTZALCO	EDI-92	747
52	LEÓN MENDEZ IVÁN ARTURO	CIDESI - QRO.	MEC-1	1
53	LIRA CACHO JUAN GUILLERMO	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA. LIMA, PERÚ	MEC-101	253
	LIRA CACHO JUAN GUILLERMO	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA. LIMA, PERÚ	MEC-109	279
54	LÓPEZ JIMÉNEZ LUIS	IPN - CICATA - QRO.	MEC-7	27
55	LÓPEZ PERRUSQUIA NOE	IPN	MEC-5	15
	LÓPEZ PERRUSQUIA NOE	IPN	MEC-6	21
56	MARTÍNEZ NANTES JOSÉ JUAN	UAM AZCAPOTZALCO	MEC-93	229
57	MARTÍNEZ NAVARRO JOSÉ ÁNGEL	IPN - ESIME - ZACATENCO	COM-44	645
58	MÉNDEZ PÉREZ ALDO L.	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TAMAULIPAS	ELO-17	359
59	MONTAÑO MARTÍNEZ NELY-HAN	IPN - CIDETEC	MET-25	509
60	MORA CAMPOS ARMANDO	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	ELE-61	327
61	MORALES CRUZ CUAUHTÉMOC	IPN - CIDETEC	MEC-13	33
62	MORENO ESCOBAR JESÚS JAIME	IPN - ESIME - ZACATENCO	ELO-50	417
63	MUÑOZ ESTRADA GERARDO	IPN - ESCOM	EDI-43	719
64	NAOYUKI NAOYUKI	JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY	MEC-56	129
65	OLVERA ALDANA MIGUEL	IPN - ESCOM	COM-99	667
66	ORTEGA GONZÁLEZ RUBÉN	IPN - ESCOM	ELO-48	409
67	ORTEGA MOODY JORGE	IPN - CICATA - QRO.	MET-22	503
68	PEÑA PÉREZ ALDO	UNIVERSIDAD DE PAVIA. ITALIA	ELO-74	469
69	PÉREZ REYES OSCAR ALBERTO	IPN - CIDETEC	COM-23	629
70	PITA MARTÍNEZ FRANCISCO JAVIER	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	EDI-91	741
71	RAMÓN VALENCIA JACIPT ALEXANDER	UNIVERSIDAD DE PAMPLONA. COLOMBIA	ELO-66	441
72	RODRÍGUEZ BELLO JUAN ROBERTO	IPN - UPIITA	MEC-57	131
73	RODRÍGUEZ GALEOTTE ABRAHAM	IPN - UPIITA	MEC-81	185
74	RODRÍGUEZ GONZÁLEZ JORGE F.	UAM AZCAPOTZALCO	MEC-117	319
75	RODRÍGUEZ TORALES JORGE LUIS	IPN-CICATA. QRO.	ELO-36	385
76	ROJAS ESLAVA BENJAMÍN	IPN - CECYT No. 1	EDI-11	673
77	ROJAS RENTERÍA JOSÉ LUIS	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO	COM-98	659
78	ROLDÁN RUBIO HOMERO	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO	ELO-21	375
79	ROZO IBAÑEZ DURWIN ALEXIS	UNIVERSIDAD DE PAMPLONA. COLOMBIA	MEC-88	213
80	RUEDA ZARAGOZA CHRISTIAN RICARDO	IPN - ESIME - ICE - ZACATENCO	ELO-70	457
81	RUIZ LEDESMA ELENA FABIOLA	IPN - ESCOM	EDI-41	711
	RUIZ LEDESMA ELENA FABIOLA	IPN - ESCOM	EDI-65	731
82	SÁNCHEZ GUZMÁN DANIEL	IPN - CICATA - LEGARIA	EDI-35	701
83	SÁNCHEZ LÓPEZ HÉCTOR JAVIER	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL VALLE DE TOLUCA	MET-4	485

5.1 LISTA DE AUTORES (3/3)				
No	**AUTOR**	**INSTITUCIÓN**	**TRABAJO**	**PÁGINA**
84	SANDOVAL LEZAMA JORGE	IPN - ESIME - TICOMÁN	MET-107	581
85	SOSA SAVEDRA JULIO CÉSAR	IPN - ESCOM	EDI-62	725
86	SUMARIA MONTES MANUEL RAÚL	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE PERÚ	MEC-108	269
87	TOLEDO TOLEDO FERNANDO	UAM AZCAPOTZALCO	ELE-94	343
88	TORRES RODRÍGUEZ IVONE CECILIA	IPN	MEC-52	105
89	TOVAR SANDOVAL JOSÉ ANTONIO	UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA. CIUDAD DE MÉXICO	MEC-28	57
90	TSIRIGOTIS GEORGIOS	KAVALA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, GREECE	EDI-71	739
91	VÁZQUEZ LÓPEZ LEONARDO DANIEL	IPN - ESCOM	EDI-26	679
92	VEGA TERRAZAS MARTÍN	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	MET-100	565
93	VERDUZCO PIÑA LUIS FERNANDO	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA	MEC-3	9
94	VILLASEÑOR AGUILAR MARCOS JESÚS	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CELAYA	MET-106	571
95	ZAVALA DE PAZ JONNY PAUL	IPN - CICATA - QRO.	MET-49	531

* NOMENCLATURA DE INSTITUCIONES:

CECYT - CENTRO DE ESTUDIOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA APLICADA Y TECNOLOGÍA AVANZADA
CIDESI - CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL (CONACYT)
CIDETEC - CENTRO DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN CÓMPUTO
ESCOM - ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO
ESIME - ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
ICE - INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
SEPI - SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVSTIGACIÓN
UAEM - UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
UAM - UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNAM -UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
UPIBI - UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA
UPIITA -UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA AVANZADAS

5.2. LISTA DE INSTITUCIONES (1/2)

No	INSTITUCIÓN	AUTOR	TRABAJO	PÁGINA
1	CIDESI - QRO.	GUTIÉRREZ ROJAS CÉSAR ALONSO	ELO-19	365
	CIDESI - QRO.	JUÁREZ GARCÍA JORGE CRISTOPHER	COM-18	617
	CIDESI - QRO.	LEÓN MENDEZ IVÁN ARTURO	MEC-1	1
2	INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN	BERNAL YESCAS FRANCISCO	MEC-27	49
3	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CELAYA	VILLASEÑOR AGUILAR MARCOS JESÚS	MET-106	571
4	IPN	DOÑU RUIZ MARCO ANTONIO	MEC-32	65
	IPN	GUERRERO CARMONA JUAN CARLOS	MEC-42	97
	IPN	LÓPEZ PERRUSQUIA NOE	MEC-5	15
	IPN	LÓPEZ PERRUSQUIA NOE	MEC-6	21
	IPN	TORRES RODRÍGUEZ IVONE CECILIA	MEC-52	105
	IPN - CECYT No. 1	ROJAS ESLAVA BENJAMÍN	EDI-11	673
	IPN - CICATA - LEGARIA	SÁNCHEZ GUZMÁN DANIEL	EDI-35	701
	IPN - CICATA - QRO.	DEL CARMEN ADRIANA MELISSA	ELO-51	425
	IPN - CICATA - QRO.	DOMÍNGUEZ LÓPEZ IVÁN	ELO-63	439
	IPN - CICATA - QRO.	HERNÁNDEZ TORRES MAYRA	MET-34	525
	IPN - CICATA - QRO.	ORTEGA MOODY JORGE	MET-22	503
	IPN - CICATA - QRO.	ZAVALA DE PAZ JONNY PAUL	MET-49	531
	IPN - CICATA. QRO.	LÓPEZ JIMÉNEZ LUIS	MEC-7	27
	IPN - CICATA. QRO.	RODRÍGUEZ TORALES JORGE LUIS	ELO-36	385
	IPN - CIDETEC	BATALLA GONZÁLEZ EDGAR SAID	COM-24	637
	IPN - CIDETEC	MONTAÑO MARTÍNEZ NELY-HAN	MET-25	509
	IPN - CIDETEC	PÉREZ REYES OSCAR ALBERTO	COM-23	629
	IPN - CIDETEC	MORALES CRUZ CUAUHTÉMOC	MEC-13	33
	IPN - ESCOM	ARZATE GORDILLO JACQUELINE	EDI-102	753
	IPN - ESCOM	ASCENCIO MARTÍNEZ HUGO IVÁN	COM-64	653
	IPN - ESCOM	BUSTOS FARÍAS EDUARDO	EDI-115	757
	IPN - ESCOM	CARRANZA CASTILLO OSCAR	ELO-47	399
	IPN - ESCOM	CHAVARRÍA BÁEZ LORENA	EDI-31	693
	IPN - ESCOM	COLÍN PÉREZ ANA LAURA	COM-10	601
	IPN - ESCOM	MUÑOZ ESTRADA GERARDO	EDI-43	719
	IPN - ESCOM	OLVERA ALDANA MIGUEL	COM-99	667
	IPN - ESCOM	ORTEGA GONZÁLEZ RUBÉN	ELO-48	409
	IPN - ESCOM	RUIZ LEDESMA ELENA FABIOLA	EDI-41	711
	IPN - ESCOM	RUIZ LEDESMA ELENA FABIOLA	EDI-65	731
	IPN - ESCOM	SOSA SAVEDRA JULIO CÉSAR	EDI-62	725
	IPN - ESCOM	VÁZQUEZ LÓPEZ LEONARDO DANIEL	EDI-26	679
	IPN - ESIME - ICE - ZACATENCO	RUEDA ZARAGOZA CHRISTIAN RICARDO	ELO-70	457
	IPN - ESIME - SEPI - AZCAPOTZALCO	DELGADO ROMERO VÍCTOR MANUEL	MEC-67	157
	IPN - ESIME - SEPI - AZCAPOTZALCO	FERIA REYEZ CÉSAR VÍCTOR	MEC-59	147
	IPN - ESIME - SEPI - AZCAPOTZALCO	GARCÍA LIRA JESÚS	MEC-82	191
	IPN - ESIME - SEPI - ZACATENCO	ALONZO GARCÍA ALEJANDRO	MEC-111	303
	IPN - ESIME - SEPI - ZACATENCO	AGUILAR OSORIO RITA	MEC-78	173
	IPN - ESIME - SEPI - ZACATENCO	AGUILAR OSORIO RITA	MEC-89	223
	IPN - ESIME - TICOMÁN	SANDOVAL LEZAMA JORGE	MET-107	581
	IPN - ESIME - ZACATENCO	HUERTA GONZÁLEZ PEDRO FRANCISCO	MEC-54	119
	IPN - ESIME - ZACATENCO	ARROYO LEYVA JORGE HEYDRIK	COM-15	609
	IPN - ESIME - ZACATENCO	CORTEZ OLIVERA R.	EDI-29	687

5.2. LISTA DE INSTITUCIONES (2/2)

No	INSTITUCIÓN	AUTOR	TRABAJO	PÁGINA
	IPN - ESIME - ZACATENCO	CRUZ GUZMÁN NORMA ALICIA	COM-9	595
	IPN - ESIME - ZACATENCO	DEL RIO ROMERO RAUL A.	MET-33	517
	IPN - ESIME - ZACATENCO	HERNÁNDEZ PÉREZ MARCO ANTONIO	COM-8	587
	IPN - ESIME - ZACATENCO	MARTÍNEZ NAVARRO JOSÉ ÁNGEL	COM-44	645
	IPN - ESIME - ZACATENCO	MORENO ESCOBAR JESÚS JAIME	ELO-50	417
	IPN - ESIME - ZACATENCO	CASTILLO SÁNCHEZ MARTÍN	MEC-80	179
	IPN - ESIME - ZACATENCO	RODRÍGUEZ ABRAHAM	MEC-81	185
	IPN - UPIBI	CORTÉS IBARRA MA. LOURDES	MEC-53	115
	IPN - UPIBI	CORTÉS IBARRA MA. LOURDES	ELO-30	381
	IPN - UPIITA	RODRÍGUEZ BELLO JUAN ROBERTO	MEC-57	131
5	ITQ	AGUIÑAGA VILLASEÑOR MARÍA DE LOS ÁNGELES	EDI-116	761
	ITQ	ARCOS PICHARDO ARELI	MEC-113	313
	ITQ	BARRERA NAVARRO AGUSTÍN	ELO-69	449
	ITQ	CHAGOLLA GAONA HERNANDO	ELO-72	463
	ITQ	CORNEJO GUERRA PAULO SERGIO	MEC-73	165
	ITQ	DE JESÚS ALCÁNTARA HILARIO	MEC-103	263
	ITQ	MORA CAMPOS ARMANDO	ELE-61	327
	ITQ	PITA MARTÍNEZ FRANCISCO	EDI-91	741
	ITQ	VEGA TERRAZAS MARTÍN	MET-100	565
6	JICA-ITQ	NAOYUKI NAOYUKI	MEC-56	129
7	KAVALA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, GREECE	TSIRIGOTIS GEORGIOS	EDI-71	739
8	LUBLIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	DZIUBINSKI MIECZYSLAW	ELE-97	351
9	POLITECHNIKA LUBELSKA, POLAND	KIERNICKI ZBIGNIEW	MEC-83	197
10	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE PERÚ	SUMARIA MONTES MANUEL RAÚL	MEC-108	269
11	TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ECATEPEC	GONZÁLEZ MEDINA ÁNGEL MIGUEL	MEC-16	41
12	TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE JOCOTITLÁN	GARCÍA MIRANDA ALEJANDRO	MET-14	495
13	UAM AZCAPOTZALCO	AYALA AHUMADA VICENTE	ELE-87	335
	UAM AZCAPOTZALCO	BELTRÁN CARBAJAL FRANCISCO	MET-68	537
	UAM AZCAPOTZALCO	BELTRÁN CARBAJAL FRANCISCO	MET-77	557
	UAM AZCAPOTZALCO	CASTILLO MEJÍA DAVID	MEC-58	139
	UAM AZCAPOTZALCO	CRUZ ALAVÉS ADRIÁN	MEC-110	293
	UAM AZCAPOTZALCO	GORDON SÁNCHEZ MANUEL	MEC-95	239
	UAM AZCAPOTZALCO	GORDON SÁNCHEZ MANUEL	MEC-96	245
	UAM AZCAPOTZALCO	LARA VALDIVIA ARACELI	EDI-92	747
	UAM AZCAPOTZALCO	MARTÍNEZ NANTES JOSÉ JUAN	MEC-93	229
	UAM AZCAPOTZALCO	RODRÍGUEZ GONZÁLEZ JORGE F.	MEC-117	319
	UAM AZCAPOTZALCO	TOLEDO TOLEDO FERNANDO	ELE-94	343
14	UNAM	GONZÁLEZ SOSA JESÚS VICENTE	MEC-38	71
	UNAM	GONZÁLEZ SOSA JESÚS VICENTE	MEC-39	79
	UNAM	GONZÁLEZ SOSA JESÚS VICENTE	MEC-40	87
15	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO	ROJAS RENTERÍA JOSÉ LUIS	COM-98	659
16	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ	CAMPOS CANTÓN ISAAC	ELO-45	393
17	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA	VERDUZCO PIÑA LUIS FERNANDO	MEC-3	9
18	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TAMAULIPAS	MÉNDEZ PÉREZ ALDO L.	ELO-17	359
19	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO	ROLDÁN RUBIO HOMERO	ELO-21	375
20	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO. ATLACOMULCO	GARCÍA MEJÍA JUAN FERNANDO	ELO-60	423
21	UNIVERSIDAD DE PAMPLONA. COLOMBIA	BELEÑO SÁENZ KELVIN DE JESÚS	MET-75	547
	UNIVERSIDAD DE PAMPLONA. COLOMBIA	RAMÓN VALENCIA JACIPT ALEXANDER	ELO-66	441
	UNIVERSIDAD DE PAMPLONA. COLOMBIA	ROZO IBAÑEZ DURWIN ALEXIS	MEC-88	213
22	UNIVERSIDAD DE PAVIA. ITALIA	PEÑA PÉREZ ALDO	ELO-74	469
23	UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA. CIUDAD DE MÉXICO	TOVAR SANDOVAL JOSÉ ANTONIO	MEC-28	57
24	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA. LIMA, PERÚ	AGÜERO ZAMORA VÍCTOR	ELO-105	477
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA. LIMA, PERÚ	LIRA CACHO JUAN GUILLERMO	MEC-101	253
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA. LIMA, PERÚ	LIRA CACHO JUAN GUILLERMO	MEC-109	279
25	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA METROPOLITANA DE HIDALGO	GARCÍA CAÑEDO MARTHA OLIVIA	ELO-76	471
26	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL VALLE DE TOLUCA	SÁNCHEZ LÓPEZ HÉCTOR JAVIER	MET-4	485
27	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES. ARGENTINA	ANTEZA LÓPEZ JAVIER	MEC-86	205

5.3.1. LISTA DE COAUTORES (MECÁNICA) 1/2				
No	**COAUTOR**	**INSTITUCIÓN**	**TRABAJO**	**PÁGINA**
1	ALTAMIRANO LEÓN GERARDO	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-93	229
2	ÁVALOS ANTONIO	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	MEC-73	165
	AYALA AHUMADA VICENTE	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-117	309
3	AYALA RODRÍGUEZ SALVADOR	IPN - ESIME - SEPI. AZCAPOTZALCO	MEC-81	185
	AYALA RODRÍGUEZ SALVADOR	IPN - ESIME - SEPI. AZCAPOTZALCO	MEC-82	191
4	BARBA PINGARRÓN ARTURO	CENTRO DE INGENIERÍA DE SUPERFICIES Y ACABADOS	MEC-38	71
5	BARREIRO TORRES SERGIO HÉCTOR	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-93	229
8	BAUTISTA BAUTISTA SÓSIMO ISMAEL	IPN - ESIME - ZACATENCO	MEC-54	119
	BERNAL YESCAS FRANCISCO	INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN	MEC-28	57
9	CAMARILLO VILLEGAS ALEJANDRA	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DEL VALLE DE MÉXICO	MEC-6	21
	CASTILLO SÁNCHEZ MARTÍN D.	IPN - ESIME - SEPI. ZACATENCO	MEC-81	185
	CASTILLO SÁNCHEZ MARTÍN D.	IPN - ESIME - SEPI. ZACATENCO	MEC-82	191
10	CHAPARRO GONZÁLEZ JOEL	CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL, QRO.	MEC-1	1
11	CONTRERAS LARIOS JOSÉ LUIS	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-95	239
	CONTRERAS LARIOS JOSÉ LUIS	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-96	235
12	CORTEZ SUÁREZ VÍCTOR JORGE	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-6	21
	CORTÉZ SUÁREZ VÍCTOR JORGE	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-32	65
13	CRUZ ROSADO DAVID LEONCIO	INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL	MEC-5	15
14	DAMIÁN NORIEGA ZEFERINO	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-58	139
	DAMIÁN NORIEGA ZEFERINO	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-86	205
15	DÁVILA GÓMEZ JOSÉ ÁNGEL	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-58	139
	DÓMÍNGUEZ LÓPEZ IVÁN	IPN-CICATA. QRO.	MEC-7	27
16	DOMÍNGUEZ RAMÍREZ OMAR ARTURO	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO	MEC-42	97
	DOÑU RUIZ MARCO ANTONIO	INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL	MEC-5	15
	DOÑU RUIZ MARCO ANTONIO	INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL	MEC-6	21
	FERIA REYES CÉSAR VÍCTOR	IPN - ESIME - SEPI. AZCAPOTZALCO	MEC-80	179
	FERIA REYES CÉSAR VÍCTOR	IPN - ESIME - SEPI. AZCAPOTZALCO	MEC-81	185
17	FLORES AGUILAR ELIZABETH	UNAM - FACULTAD DE INGENIEERÍA	MEC-38	71
	FLORES AGUILAR ELIZABETH	UNAM - FACULTAD DE INGENIEERÍA	MEC-39	79
	FLORES AGUILAR ELIZABETH	UNAM - FACULTAD DE INGENIEERÍA	MEC-40	87
18	GARCÍA GARCÍA ADRIÁN LUIS	IPN-CICATA. QRO.	MEC-7	27
	GARCÍA LIRA JESÚS	IPN - ESIME - SEPI. AZCAPOTZALCO	MEC-80	179
	GARCÍA LIRA JESÚS	IPN - ESIME - SEPI. AZCAPOTZALCO	MEC-81	185
19	GÓMEZ CASTRO PAUL OCTAVIO	IPN - CIDETEC	MEC-13	33
20	GONZÁLEZ LEMUS JESÚS	TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ECATEPEC	MEC-16	41
21	GUTIÉRREZ TORRES CLAUDIA DEL CARM	IPN - ESIME - SEPI. ZACATENCO	MEC-111	303
22	HERNÁNDEZ CASTRO IVAN	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DEL VALLE DE MÉXICO	MEC-6	21
23	HERNÁNDEZ MORENO HILARIO	IPN - ESIME - SEPI - TICOMÁN	MEC-67	147
24	HERNÁNDEZ PÉREZ ISAÍAS	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-110	293
25	HERNÁNDEZ ROMÁN MIGUEL ÁNGEL	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	MEC-113	313
	HUERTA GONZÁLEZ PEDRO FRANCISCO	IPN - ESIME - ZACATENCO	MEC-52	105
26	HUITRON SÁNCHEZ DAVID	INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL	MEC-5	15
27	JIMÉNEZ BERNAL JOSÉ A.	IPN - ESIME - SEPI. ZACATENCO	MEC-111	303
28	JIMÉNEZ RABIELA HOMERO	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-110	293
29	LARA RANGEL SAUL	INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL	MEC-5	15
30	LÓPEZ AGUADO MONTES JOSÉ LUIS	IPN - ESIME - SEPI. ZACATENCO	MEC-111	303
31	LÓPEZ GANEM GERALDINE	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-95	239
	LÓPEZ PERRUSQUIA NOE	IPN - ESIME - SEPI	MEC-32	65
32	LÓPEZ RAMÍREZ GERARDO	IPN - ESIME - SEPI - TICOMÁN	MEC-78	173
33	MONDRAGÓN HERRERA JOSÉ ANTONIO	IPN - UNIDAD PROFESIONAL IINTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA	MEC-53	115
34	MURATALLA ARREOLA LUIS OMAR	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DEL VALLE DE MÉXICO	MEC-6	21
35	NAVARRETE POSADAS JOSÉ RODRIGO	UNAM - FACULTAD DE INGENIEERÍA	MEC-39	79

5.3.1. LISTA DE COAUTORES (MECÁNICA) 2/2				
No	**COAUTOR**	**INSTITUCIÓN**	**TRABAJO**	**PÁGINA**
36	NAVARRO GIL FERNADO	IPN - UNIDAD PROFESIONAL IINTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA	MEC-53	115
37	NORIEGA A.	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	MEC-73	165
38	OBREGÓN TENORIO ANTONIO	IPN - ESIME - ZACATENCO	MEC-52	105
39	OLIVA LÓPEZ EDUARDO	IPN - ESIME - SEPI. ZACATENCO	MEC-89	223
40	ORTEGA VIVAS CÉSAR ADOLFO	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MONTERREY. QUERÉTARO	MEC-78	173
	ORTEGA VIVAS CÉSAR ADOLFO	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MONTERREY. QUERÉTARO	MEC-89	223
41	PAYÁN OSUNA MARTHA ITZEL	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA	ME-3	9
42	PEÑALOZA MEJÍA OLLIN	TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ECATEPEC	MEC-16	41
43	PÉREZ MORENO ROMY	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-86	205
44	PINEDA PIÑON JORGE	IPN - CICATA. QUERÉTARO	MEC-113	313
	PITA MARTÍNEZ FRANCISCO JAVIER	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	MEC-103	263
45	PORTILLA FLORES EDGAR ALFREDO	IPN - CIDETEC	MEC-13	33
46	PUERTA HUERTA J. PEDRO A.	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-86	205
47	QUINTANA DÍAZ M. BERENICE G.	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-117	319
48	QUIÑONES URIÓSTEGUI IVETT	INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN	MEC-27	49
	QUIÑONES URIÓSTEGUI IVETT	INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN	MEC-28	57
49	RAMÍREZ ÁLVAREZ MANUEL	UNAM - FACULTAD DE INGENIEERÍA	MEC-39	79
50	RAMÍREZ LÓPEZ RAÚL	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	MEC-103	263
51	RESÉNDIZ SOLÍS Y.	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DEL VALLE DE MÉXICO	MEC-32	65
52	REYES ZAMORA ULISES	IPN - ESIME - SEPI - TICOMÁN	MEC-67	147
53	RIVERA SALAMANCA CARLOS A.	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-93	229
	RIVERA SALAMANCA CARLOS A.	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-110	283
54	RODRÍGUEZ AYALA SALVADOR	IPN - ESIME - AZCAPOTZALCO	MEC-80	179
	RODRÍGUEZ BELLO JUAN ROBERTO	IPN - UPIITA	MEC-59	147
	RODRÍGUEZ GALEOTTE ABRAHAM	IPN - UPIITA	MEC-59	147
	RODRÍGUEZ GALEOTTE ABRAHAM	IPN - UPIITA	MEC-82	191
	RODRÍGUEZ GALEOTTE ABRAHAM	IPN - UPIITA	MEC-57	131
55	RODRÍGUEZ GASCA ADRIANA SARAHÍ	IPN - UNIDAD PROFESIONAL IINTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA	MEC-53	115
56	RODRÍGUEZ LEÓN CARLOS EDUARDO	IPN - UNIDAD PROFESIONAL IINTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA	MEC-53	115
57	RODRÍGUEZ MUÑOZ ALMA DELIA	TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ECATEPEC	MEC-16	41
58	ROJAS CHÁVEZ FREDDY J.	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	MEC-108	269
59	RUBIO GONZÁLES CARLOS	CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL, QRO.	MEC-1	1
60	SALAZAR PERALTA JOVANNI	IPN - UNIDAD PROFESIONAL IINTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA	MEC-53	115
61	SÁNCHEZ CABRERA VÍCTOR MANUEL	CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL, QRO.	MEC-1	1
62	SÁNCHEZ CRISTO ANDRÉS FELIPE	IPN - CIDETEC	MEC-13	33
63	SÁNCHEZ HUITRÓN DAVID	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DEL VALLE DE MÉXICO	MEC-32	65
64	SANTILLÁN GÓMEZ MARCOS	UNAM - FACULTAD DE INGENIEERÍA	MEC-38	71
65	SEPÚLVEDA CERVANTES GABRIEL	IPN - CIDETEC	MEC-42	97
66	SUÁREZ SANTILLÁN ROSAURA ANAID	IPN - CIDETEC	MEC-13	33
67	TAMAYO MEZA PEDRO ALEJANDRO	IPN - ESIME - SEPI - ZACATENCO	MEC-67	147
68	TERRÉS PEÑA HILARIO	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-95	239
	TERRÉS PEÑA HILARIO	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-96	245
	TOLEDO TOLEDO FERNANDO	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-117	319
	TORRES RODRÍGUEZ IVONE CECILIA	IPN - ESIME - ZACATENCO	MEC-54	119
	TOVAR SANDOVAL JOSÉ ANTONIO	INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN	MEC-27	49
69	URIARTE RODRÍGUEZ LUIS	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA	ME-3	9
70	VÁZQUEZ RAMÍREZ FRUMENCIO	INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL	MEC-5	15
71	VELA PEÑA EVARISTO	INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN	MEC-27	49
	VELA PEÑA EVARISTO	INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN	MEC-28	57
72	VILLANUEVA PRUNEDA SERGIO A.	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-86	205
73	VILLEGAS CÁRDENAS J.D.	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DEL VALLE DE MÉXICO	MEC-32	65
74	VILLEGAS GARCÍA JOSUÉ MISAEL	UNAM - FACULTAD DE INGENIERÍA - POSGRADO	MEC-40	87
75	YÁÑEZ J.	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	MEC-73	165
76	ZEKOUR ZEKOUR AHMED	UAM - AZCAPOTZALCO	MEC-93	229

5.3.2. LISTA DE COAUTORES (ELÉCTRICA)				
No	**COAUTOR**	**INSTITUCIÓN**	**TRABAJO**	**PÁGINA**
	AYALA AHUMADA VICENTE	UAM - AZCAPOTZALCO	ELE-94	343
	CHAGOLLA GAONA HERNANDO	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	ELE-61	327
77	JUAREZ CERVANTES JOSE DOLORES	UAM - AZCAPOTZALCO	ELE-87	335
	JUAREZ CERVANTES JOSE DOLORES	UAM - AZCAPOTZALCO	ELE-94	343
	QUINTANA DÍAZ M. BERENICE G.	UAM - AZCAPOTZALCO	ELE-94	343
78	RIVERA VELAZQUEZ LEONARDO	INSTITUTO TECNOLOGICO DE QUERETARO	ELE-61	327
79	RODRÍGUEZ GUERRERO JOSÉ M	UAM - AZCAPOTZALCO	ELE-87	335
80	RODRIGUEZ RUBIO RODRIGO	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	ELE-61	327
	TOLEDO TOLEDO FERNANDO	UAM - AZCAPOTZALCO	ELE-87	335

5.3.3. LISTA DE COAUTORES (ELECTRÓNICA)				
No	**COAUTOR**	**INSTITUCIÓN**	**TRABAJO**	**PÁGINA**
81	ALMARIO OSPINO REINALDO	UNIVERSIDAD DE PAMPLONA. COLOMBIA	ELO-66	441
82	BONIZZONI EOARDO	UNIVERSIDAD DE PAVIA. ITALIA	ELO-74	469
	CARRANZA CASTILLO OSCAR	IPN - ESCOM	ELO-48	409
83	CASTELLANOS VELASCO ERNESTO	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ	ELO-45	393
84	CASTILLO FERNÁNDEZ ROBERTO	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TAMAULIPAS	ELO-17	359
	CHAGOLLA GAONA HERNANDO	INSTITUTO TECNOLOGICO DE QUERETARO	ELO-69	449
	CHAGOLLA GAONA HERNANDO	INSTITUTO TECNOLOGICO DE QUERETARO	ELO- 17	349
	DOMÍNGUEZ LÓPEZ IVÁN	IPN - CICATA - QUERÉTARO	ELO-51	425
85	FIGUERES AMOROS EMILIO	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. ESPAÑA	ELO-47	399
	FIGUERES AMOROS EMILIO	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. ESPAÑA	ELO-48	409
86	GAMEZ CUATZIN HUGO	CENTRO DE INGENIERIA Y DESARROLLO INDUSTRIAL	ELO-19	365
87	GARCERA SANFELIU GABRIEL	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. ESPAÑA	ELO-47	399
	GARCERA SANFELIU GABRIEL	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. ESPAÑA	ELO-48	409
	GARCÍA GARCÍA ADRIÁN LUIS	IPN - CICATA - QUERÉTARO	ELO-51	425
	GARCÍA GARCÍA ADRIÁN LUIS	IPN - CICATA - QUERÉTARO	ELO-63	439
88	GARCÍA MEJÍA JOSÉ ANTONIO	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO - ATLACOMULCO	ELO-60	433
89	GAYTÁN JOSÉ ALFREDO	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE MÉXICO	ELO-72	463
90	GÓMEZ ESPINOSA ALFONSO	CENTRO DE INGENIERIA Y DESARROLLO INDUSTRIAL	ELO-19	365
91	GUTIÉRREZ RAZO RODOLFO	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE MÉXICO	ELO-72	463
92	ITURRI HINOJOSA ALEJANDRO	IPN - ESIME - ZACATENCO	ELO-70	457
93	ITZÁ ORTIZ BENJAMÍN ALFONSO	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO HIDALGO	ELO-21	375
94	JIMÉNEZ CALVILLO CÉSAR	INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE SAN LUIS POTOSÍ	ELO-45	393
95	LEON VEGA CIRILO	IPN - ESIME - ZACATENCO	ELO-70	457
	LIRA CACHO JUAN GUILLERMO	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA. LIMA, PERÚ	ELO-105	477
96	LOPÉZ PÉREZ BRUNO	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE QUERÉTARO	ELO-63	439
97	MALOBERTI FRANCO	UNIVERSIDAD DE PAVIA	ELO-74	469
98	MENDOZA GALVÁN ARTURO	IPN - CINVESTAV - QUERÉTARO	ELO-36	385
	MONDRAGÓN HERRERA JOSÉ ANTONIO	IPN - UPIBI	ELO-30	381
	MORA CAMPOS ARMANDO	INSTITUTO TECNOLOGICO DE QUERETARO	ELO-72	463
99	MORALES SÁNCHEZ EDUARDO	IPN - CICATA - QUERÉTARO	ELO-36	385
	MORALES SÁNCHEZ EDUARDO	IPN - CICATA - QUERÉTARO	ELO-69	449
100	MURGUÍA MACARIO MANUEL	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEON - FIME	ELO-17	359
	NAVARRO GIL FERNANDO	IPN - UPIBI	ELO-30	381
101	NORIEGA PONCE ALFONSO	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO	ELO-69	449
	ORTEGA GONZáLEZ RUBÉN	IPN - ESCOM	ELO-47	399
	ORTEGA MOODY JORGE	IPN - CICATA - QUERÉTARO	ELO-69	449
102	PANDURO MENDOZA MARCO A.	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TAMAULIPAS	ELO-17	359
103	PERÉZ RESÉNDIZ ESTELA	IPN -CICATA - QUERÉTARO	ELO-69	449
104	QUINTANILLA CHÁVEZ JUAN BERNADO	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA METROPOLITANA DE HIDALGO	ELO-76	461
105	RAMÍREZ HERNÁNDEZ MIGUEL A	IPN - CICATA - QUERÉTARO	ELO-63	439
106	RAMOS VELASCO LUIS ENRIQUE	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO HIDALGO	ELO-21	375
	RODRÍGUEZ GASCA ADRIANA S.	IPN - UPIBI	ELO-30	381
	ROZO IBAÑEZ DURWIN ALEXIS	UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, COLOMBIA	ELO-66	441
	SALAZAR PERALTA JOVANNI	IPN - UPIBI	ELO-30	381
107	TORRES REYES CARLOS EDUARDO	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO - ATLACOMULCO	ELO-60	433
108	VÁZQUEZ MEDINA RUBÉN	IPN - ESIME - SEPI - CULHUACAN	ELO-51	425
109	VIDALES HURTADO MÓNICA A.	IPN - CICATA - QUERÉTARO	ELO-36	385
	ZEKKOUR ZEKKOUR AHMED	UAM - AZCAPOTZALCO, INSTITUTO TECNOLOGICO DE QUERETARO	ELO-72	463

5.3.4. LISTA DE COAUTORES (MECATRÓNICA)				
No	**COAUTOR**	**INSTITUCIÓN**	**TRABAJO**	**PÁGINA**
110	AVILÉS SÁNCHEZ OSCAR F.	UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA. BOGOTÁ, COLOMBIA	MET-33	517
	BARRERA NAVARRO AGUSTÍN	IPN -CICATA - QUERÉTARO	MET-22	503
111	CASTILLO CASTAÑEDA EDUARDO	IPN -CICATA - QUERÉTARO	MET-49	531
112	CORREA ARREDONDO JOSÉ ARTURO	IPN - ESIME - TICOMÁN	MET-107	581
	DAMIÁN NORIEGA ZEFERINO	UAM - AZCAPOTZALCO	MET-68	537
	DAMIÁN NORIEGA ZEFERINO	UAM - AZCAPOTZALCO	MET-77	557
113	DÍAZ SÁENZ CARLOS GABRIEL	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE. BARRANQUILLA, COLOMBIA	MET-75	547
	GARCÍA MIRANDA ALEJANDRO	TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE JOCOTITLÁN	MET-34	525
114	GARCÍA RAMÍREZ AXELL	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	MET-100	565
115	GIRÓN REYES JESÚS	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL VALLE DE TOLUCA	MET-4	485
116	GONZÁLEZ HERNÁNDEZ ABRAHAM	IPN -CICATA - QUERÉTARO	MET-49	531
117	GONZÁLEZ VILLA ADOLFO	IPN - CIDETEC	MET-33	517
118	HERNÁNDEZ ALVARADO BERNARDO	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL VALLE DE TOLUCA	MET-4	485
119	HERNÁNDEZ ROQUE TIBURCIO	IPN - ESIME - TICOMÁN	MET-107	581
120	MONTES ESTRADA ERNESTO	UAM - AZCAPOTZALCO	MET-77	557
	MORALES SÁNCHEZ EDUARDO	IPN - CICATA - QUERÉTARO	MET-14	495
	MORALES SÁNCHEZ EDUARDO	IPN - CICATA - QUERÉTARO	MET-22	503
	MORALES SÁNCHEZ EDUARDO	IPN - CICATA - QUERÉTARO	MET-34	525
121	PADILLA MEDINA JOSÉ ALFREDO	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CELAYA	MET-106	571
122	PARDO GARCÍA ALDO	UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, COLOMBIA	MET-75	547
	PÉREZ MORENO ROMY	UAM - AZCAPOTZALCO	MET-68	537
	PERÉZ RESÉNDIZ ESTELA	IPN -CICATA - QUERÉTARO	MET-22	503
	PORTILLA FLORES EDGAR ALFREDO	IPN - ESIME - ZACATENCO	MET-33	517
	PUERTA HUERTA J. PEDRO A.	UAM - AZCAPOTZALCO	MET-68	537
123	RAMÍREZ AGUNDIS AGUSTÍN	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CELAYA	MET-106	571
124	RAMÍREZ OLLERVIDES ALDO DANIEL	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO	MET-100	565
125	RESÉNDIZ PÉREZ JAIME DE JESÚS	IPN -CICATA - QUERÉTARO	MET-49	531
126	ROMÁN PÉREZ MARCO ANTONIO	IPN - CIDETEC	MET-25	509
127	RUIZ TORRES MAXIMIANO	IPN -CICATA - QUERÉTARO	MET-22	503
128	SANTOS HERNÁNDEZ LUIS E.	IPN - CIDETEC	MET-33	517
	SEPÚLVEDA CERVANTES GABRIEL	IPN - CIDETEC	MET-25	509
129	SILVA ORTIGOZA RAMÓN	IPN - CIDETEC	MET-4	485
130	TORRES CHÁVEZ IVALDO	UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, COLOMBIA	MET-75	547
131	VÁZQUEZ GONZÁLEZ BENJAMÍN	UAM - AZCAPOTZALCO	MET-77	557
	VILLANUEVA PRUNEDA SERGIO A.	UAM - AZCAPOTZALCO	MET-68	537
	VILLANUEVA PRUNEDA SERGIO A.	UAM - AZCAPOTZALCO	MET-77	557

5.3.5. LISTA DE COAUTORES (SIST. COMPUTACIONALES)				
No	**COAUTOR**	**INSTITUCIÓN**	**TRABAJO**	**PÁGINA**
132	ACEVEDO MOSQUEDA MARÍA ELENA	IPN - ESIME - ZACATENCO	COM-15	609
	ACEVEDO MOSQUEDA MARÍA ELENA	IPN - ESIME - ZACATENCO	COM-44	645
133	ÁLVAREZ BALLESTEROS SALVADOR	IPN - ESIME - ZACATENCO	COM-8	587
	ÁLVAREZ BALLESTEROS SALVADOR	IPN - ESIME - ZACATENCO	COM-9	595
	ARROYO LEYVA JORGE HEYDRIK	IPN - ESIME - ZACATENCO	COM-44	645
	ARZATE GORDILLO JACQUELINE	IPN - ESCOM	COM-10	601
134	CARRETO ARELLANO CHADWICK	IPN - ESCOM	COM-8	587
	CARRETO ARELLANO CHADWICK	IPN - ESCOM	COM-9	595
	CHAVARRÍA BÁEZ LORENA	IPN - ESCOM	COM-10	601
135	CLAUDIO RAMÍREZ OCTAVIO	IPN - ESCOM	COM-64	653
	GÁMEZ CUATZIN HUGO	CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL	COM-18	617
136	GARCÍA BADILLO MICHEL MARCOS	IPN - ESCOM	COM-99	667
137	HIJAR MIRANDA JOSÉ ANTONIO	IPN - ESCOM	COM-10	601
138	JIMÉNEZ HERNÁNDEZ HUGO	CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL	COM-18	617
139	LUNA RUBIO RICARDO	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO	COM-98	659
140	MARTÍNEZ GONZÁLEZ EDGAR ANTONIO	IPN - ESCOM	COM-10	601
	MARTÍNEZ NAVARRO JOSÉ ÁNGEL	IPN - ESIME - ZACATENCO	COM-15	609
141	MARTÍNEZ ZÚÑIGA FABIOLA	IPN - ESIME - ZACATENCO	COM-15	609
	MARTÍNEZ ZÚÑIGA FABIOLA	IPN - ESIME - ZACATENCO	COM-44	645
142	MONTIEL PÉREZ JESÚS YALJÁ	IPN - ESCOM	COM-64	653
143	PAMATZ REYES ROMÁN DIVANNI	IPN - ESCOM	COM-10	601
	PORTILLA FLORES EDGAR ALFREDO	IPN - CIDETEC	COM-23	629
	PORTILLA FLORES EDGAR ALFREDO	IPN - CIDETEC	COM-24	637
144	ROMERO HERRERA RODOLFO	IPN - ESCOM	COM-64	653
	SEPÚLVEDA CERVANTES GABRIEL	IPN - CIDETEC	COM-23	629
	SEPÚLVEDA CERVANTES GABRIEL	IPN - CIDETEC	COM-24	637

6.1. RELATORÍA FINAL DEL CONGRESO CIMEEM2011

Este 4° Congreso Internacional de Ingenierías Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Mecatrónica y Sistemas Computacionales se llevó a cabo del 27 al 29 de septiembre del 2011, en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Querétaro, en la Ciudad de Querétaro, Qro.

Este evento lo organizó la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, en colaboración con el Instituto Tecnológico de Querétaro y la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional.

La celebración de este evento estuvo en riesgo de cancelación debido a que en fechas próximas al cierre de recepción de trabajos, menos de 40 trabajos se habían recibido. Los organizadores decidimos prorrogar la fecha límite para recibir trabajos, y finalmente se recibieron 115 trabajos.

La mayoría de los trabajos recibidos no cumplieron con el formato oficial (tamaño A4) establecido para la redacción de ellos, lo cual hizo muy laboriosa la tarea de edición y es la causa de que estas memorias sean publicadas hasta después de celebrado el evento.

De los 113 trabajos recibidos se aceptaron inicialmente 102 y 11 fueron rechazados. Los autores de 8 trabajos aceptados declinaron posteriormente participar en el evento, quedando 94 trabajos inicialmente aceptados.

A los autores de los 11 trabajos inicialmente rechazados se les solicitó hacer correcciones de fondo a sus trabajos para poder ser aceptados. El autor de uno de estos 11 trabajos declinó participar. De los 104 trabajos finalmente aceptados, 13 correspondieron a autores extranjeros.

Para la evaluación de los trabajos se diseñó un formato, y parte de los 102 trabajos inicialmente aceptados fueron evaluados por un comité de 40 investigadores a quienes se les invitó a participar en esta actividad. Este comité evaluó 68 trabajos, y de éstos 11 fueron rechazados como ya se mencionó anteriormente; estos 68 trabajos fueron revisados adicionalmente por el Comité Científico al ser editados, solicitándose correcciones a los autores . Los 45 trabajos no evaluados por el comité (de éstos, 17 por ser los últimos en recibirse), fueron evaluados directamente por el Comité Científico de CIMEEM2011.

Los 104 trabajos que se presentaron en el congreso fueron todos editados de acuerdo con el formato establecido para la redacción de los trabajos. Por tanto, a todos los autores se les envió una edición de prueba para que la revisaran y proceder así a su edición final.

Los trabajos se presentaron en dos modalidades: como ponencia oral o como cartel. El tamaño del cartel impreso fue A0 (840 mm x 1189 mm). 73 trabajos se presentaron oralmente, 2 se presentaron como conferencias magistrales, y 29 se presentaron en forma de cartel.

En cuanto a la adscripción de los autores mexicanos, 52 correspondieron a diversas escuelas del Instituto Politécnico Nacional, 11 a la Universidad Autónoma Metropolitana, 9 al Instituto Tecnológico de Querétaro, 3 a la Universidad Nacional Autónoma de México, 3 al Centro de Investigación y Desarrollo Industrial. Los 13 trabajos restantes correspondieron (un trabajo por cada institución) al Instituto Nacional de Rehabilitación, el Instituto Tecnológico de Celaya, el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, el Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, la Universidad Autónoma de Querétaro, la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, la Universidad Autónoma de Sinaloa, la Universidad Autónoma de Tamaulipas, la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, la Universidad Autónoma del Estado de México, la Universidad Iberoamericana, la Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo, y la Universidad Tecnológica del Valle de Toluca.

Agradecemos a todos los autores su participación en CIMEEM2011 y los invitamos a participar nuevamente, en el próximo 5° Congreso Internacional de Ingenierías Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Mecatrónica y Sistemas Computacionales (CIMEEM2013), a celebrarse en el primer semestre de 2013, en la Ciudad de México. Queda pendiente la fecha específica y el lugar del evento.

Comité Organizador CIMEEM2011

Mtro. Ahmed Zekour Zekour	Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco
Dr. Zeferino Damián Noriega	Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco
Mtro. Hernando Chagolla Gaona	Instituto Tecnológico de Querétaro
Dr. Eduardo Bustos Farías	Escuela Superior de Cómputo del IPN

6.2. Fotografía de la Clausura el 29 de septiembre a las 14:09 horas.