



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DE TRES MECANISMOS DIDÁCTICOS
DE CUATRO ELEMENTOS (RRRR, RRRP Y RRPR).**

PROYECTO TERMINAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO
PRESENTA
HIRAM EZEQUIEL CHÁVEZ BEDOY

ASESOR: ING. ROMY PÉREZ MORENO

MÉXICO, D.F.

VERANO, 2007

En cada máquina que utilizamos hoy en día se encuentra presente un gran número de mecanismos, y a medida que el tiempo avanza éstas se vuelven más complejas y eficientes. Es de vital importancia para el ingeniero mecánico estudiar y comprender claramente el comportamiento de los mecanismos para su optimización y de esta manera participar en el avance tecnológico del país.

Teniendo como objetivo el que los alumnos de Ingeniería Mecánica complementen sus conocimientos teóricos con los prácticos, en este proyecto se han desarrollado tres mecanismos didácticos ha emplearse en prácticas de análisis cinemático de mecanismos planos. Una de las características que hace a estos mecanismos especiales, es que la longitud de sus eslabones es variable, permitiendo realizar experimentos con un gran número de configuraciones diferentes para cada mecanismo.

El diseño y la manufactura de los componentes del mecanismo de cuatro barras, de el de manivela corredera y de el inversión tipo I de manivela corredera hace posible que mediante la grabación en video de su movimiento se pueda determinar la posición, la velocidad y la aceleración de sus eslabones.

Los resultados obtenidos al analizar cinemáticamente a estos mecanismos mediante experimentación son muy cercanos a los resultados teóricos, registrando porcentajes de error muy bajos al hacer una comparación entre ambos resultados.

Los mecanismos manufacturados serán utilizados para realizar prácticas de análisis cinemático en la uueeaa Laboratorio de Mecanismos porque permiten realizar un análisis experimental confiable.

agradecimientos

Doy gracias a Dios por darme fortaleza en todo momento, a mi familia, en especial a mis padres, a sara, a lau, a nini, a licha, a tolín y a jimbo por todo su amor y apoyo a lo largo de mi vida, a ustedes les debo esta ingeniería, a brenda te amo p.s.c., gracias por tu ayuda en el reporte, a mis amigos por los buenos e imborrables momentos que pasamos juntos, a lalo, oscar, cheko, pollo, cynthia, diana, edgar, poncho, ceci, nalleli, dalía. Gracias a todas las personas que colaboraron en este proyecto en especial al patrocinio de mi padre, al ing. romy perez moreno por su asesoría, al ing. sergio villanueva pruneda por asesorarme en diseño y en dibujo mecánico, al ing. mario gomez villeda por su asesoría en CNC, al ing. pedro garcía segura por proveer el modelo virtual 3D del reductor de velocidad, a diana por su ayuda en el taller de maderas de CyAD y a mario por ayudarme con tantas y largas horas de maquinado.

1.2.2	1.2.2 Materiales en Ingeniería	20
1.2.2.1	1.2.2.1 Clasificación de los materiales	20
1.2.2.1.1	1.2.2.1.1 Materiales metálicos	21
1.2.2.1.1.1	1.2.2.1.1.1 Metales ferrosos	21
1.2.2.1.1.2	1.2.2.1.1.2 Metales no ferrosos	22
1.2.2.1.2	1.2.2.1.2 Materiales no metálicos	25
1.2.2.1.2.1	1.2.2.1.2.1 Materiales orgánicos	25
1.2.2.1.2.2	1.2.2.1.2.2 Materiales inorgánicos	26
1.2.2.1.3	1.2.2.1.3 Materiales compuestos	26
1.2.3	1.2.3 Procesos de Manufactura y ensamble	28
1.2.3.1	1.2.3.1 Procesos básicos	28
1.2.3.2	1.2.3.2 Procesos tecnológicos para dar forma a los materiales	30
1.2.3.2.1	1.2.3.2.1 Torneado	30
1.2.3.2.2	1.2.3.2.2 Fresado	32
1.2.3.3	1.2.3.3 Soldadura	34
1.2.3.4	1.2.3.4 Uniones adhesivas	35
1.2.3.4.1	1.2.3.4.1 Tipos de adhesivos	35
1.2.3.4.2	1.2.3.4.2 Métodos de aplicación de adhesivos	36
1.2.3.5	1.2.3.5 Ensamble mecánico	36
1.2.3.5.1	1.2.3.5.1 Tornillos, tuercas y pernos	36
1.2.3.5.2	1.2.3.5.2 Remaches y ojillos	37
1.2.3.5.3	1.2.3.5.3 Ajustes por interferencia	38
1.2.3.5.3.1	1.2.3.5.3.1 Juegos y aprietes	42
CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		44
2.1	2.1 Metodología de solución	45
2.1.1	2.1.1 Diseño de componentes	45
2.1.1.1	2.1.1.1 Elección de la long máx, media y mín de los eslabones, así como la configuración de los mecanismos	45
2.1.1.2	2.1.1.2 Diseño de los componentes de cada mecanismo	46

2.1.2	Manufactura y ensamble de componentes	48
2.1.3	Prueba de mecanismos	48
2.1.4	Diagrama de flujo de la metodología	49
2.1.5	Equipo y software	50
CAPÍTULO III: DESARROLLO		52
3.1	Diseño de componentes	52
3.1.1	Elección de la longitud máxima, media y mínima de los eslabones, así como la configuración de los mecanismos	52
3.1.1.1	Mecanismo RRRR	52
3.1.1.2	Mecanismo RRRP	70
3.1.1.3	Mecanismo RRPR	78
3.1.2	Diseño de los componentes de cada mecanismo	82
3.1.2.1	Diseño de eslabones	82
3.1.2.2	Diseño de juntas	85
3.1.2.3	Diseño de eje de transmisión de movimiento	91
3.1.2.3.1	Eje de entrada	91
3.1.2.3.2	Cople motor-eje	92
3.1.2.4	Diseño de soporte de los mecanismos	92
3.2	Manufactura y ensamble de componentes	94
3.2.1	Manufactura	94
3.2.2	Ensamble	95
3.2.2.1	Chumaceras y guías de corredera con base de mecanismo	96
3.2.2.2	Manivela con eje de transmisión	96
3.2.2.3	Carro de junta con perno de junta	97
3.2.2.4	Eslabón con balero	97
3.2.2.5	Perno de junta con balero	99
3.2.2.6	Eslabón con tapa de eslabones	101
3.2.2.7	Junta lado chumacera con perno de salida	101
3.2.2.8	Eje de transmisión o perno de balancín con chumacera	102

3.2.2.9 Eje de salida con chumacera	103
3.2.2.10 Esfuerzos en ajustes forzados por interferencia	104
3.3 Prueba de los mecanismos	106
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS	108
4.1 Presentación de resultados	108
4.1.1 Mecanismo RRRR	108
4.1.1.1 Resultados de práctica 5	108
4.1.1.2 Resultados de KIMA®	109
4.1.2 Mecanismo RRRP	111
4.1.2.1 Resultados de práctica 6	111
4.1.2.2 Resultados de KIMA®	112
4.1.3 Mecanismo RRPR	114
4.1.3.1 Resultados de práctica 7	114
4.1.3.2 Resultados de KIMA®	115
4.2 Análisis de resultados	117
4.2.1 Mecanismo RRRR	117
4.2.2 Mecanismo RRPR	118
4.2.3 Mecanismo RRRP	118
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	119
APÉNDICE A: PROGRAMA DE MAQUINADO CNC PARA MANIVELA Y TAPA DE ESABONES	121
APÉNDICE B: DIBUJOS NORMALIZADOS	135
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN	166

Notación	Variable	Unidades
M	Grados de libertad	s/u
L	Número de eslabones	s/u
J	Número de juntas	s/u
G	Número de eslabones fijos	s/u
J_1	Número de juntas completas	s/u
J_2	Número de semijuntas	s/u
S	Longitud del eslabón más corto	mm
L	Longitud del eslabón más largo	mm
P	Longitud del eslabón restante	mm
Q	Longitud del otro eslabón restante	mm
e	excentricidad	mm
θ_1	Posición angular del eslabón fijo	°
θ_2	Posición angular del eslabón 2	°
θ_3	Posición angular del eslabón 3	°
θ_4	Posición angular del eslabón 4	°
R_1	Longitud del eslabón 1	mm
R_2	Longitud del eslabón 2	mm
R_3	Longitud del eslabón 3	mm
R_4	Longitud del eslabón 4	mm
ω_1	Velocidad angular del eslabón 1	rad/s
ω_2	Velocidad angular del eslabón 2	rad/s
ω_3	Velocidad angular del eslabón 3	rad/s
ω_4	Velocidad angular del eslabón 4	rad/s
V_4	Velocidad de la corredera	mm/s
α_1	Aceleración angular del eslabón 1	rad/s ²
α_2	Aceleración angular del eslabón 2	rad/s ²
α_3	Aceleración angular del eslabón 3	rad/s ²

α_4	Aceleración angular del eslabón 4	rad/s ²
a_4	Aceleración de la corredera	mm/s ²
Δr	Interferencia diametral total entre maza y flecha	m
r	Radio nominal de la interfaz entre maza y flecha	m
r_0	Radio exterior de la maza	m
r_i	Radio interior de la flecha	m
E_0	Modulo de Young del material de la maza	N/m ²
E_i	Modulo de Young del material del árbol	N/m ²
V_0	Modulo de Poisson del material de la maza	s/u
V_i	Modulo de Poisson del material de la flecha	s/u
σ_t	Esfuerzo tangencial	N/m ²
σ_r	Esfuerzo radial	N/m ²
P	Presión	N/m ²

OBJETIVOS

1. Diseñar y construir eslabones, juntas y 3 mesas para la experimentación con mecanismos de cuatro barras (RRRR), manivela corredera (RRRP) y manivela corredera inversión tipo I (RRPR), con la posibilidad de variar las dimensiones de sus eslabones en un intervalo de 20%.
2. Desarrollar una herramienta con fines didácticos, enfocada a apoyar a la uea “Laboratorio de Mecanismos”, la cual permita a los estudiantes aplicar los conocimientos aprendidos en clase teórica en la examinación física de los mecanismos cuatro barras, manivela corredera y manivela corredera inversión tipo I.

INTRODUCCIÓN

Existe un número infinito de mecanismos en el mundo que nos rodea, están presentes tanto en la industria como en la vida cotidiana, algunos ejemplos de éstos son una silla plegadiza, una sombrilla, un sacapuntas de manivela, un tornillo tensor y hasta un reloj analógico.

Es de gran importancia para el ingeniero mecánico el estudio y la optimización de los mecanismos, es por esta razón que la mayoría de las universidades incluyen las materias de mecanismos y Laboratorio de mecanismos en su plan de estudios de ingeniería mecánica.

La cantidad de mecanismos existentes en el mundo de la ingeniería es tan grande que es imposible que el alumno de ingeniería mecánica los estudie uno a uno. Sin embargo, el objetivo de la materia de mecanismos es que el alumno sea capaz de analizar cualquier tipo de mecanismo. Para lograr este objetivo en la Universidad Autónoma Metropolitana – Unidad Azcapotzalco (UAM-AZC) se diseña y construye equipo, prácticas y software de análisis de imagen para apoyar a la UEA de Laboratorio de Mecanismos.

Este proyecto terminal incluye el desarrollo de equipo para la experimentación con mecanismos cuatro barras (RRRR), manivela corredera (RRRP) y manivela corredera inversión tipo I (RRPR) con un diseño tal que permita experimentar con un gran número de mecanismos incluidos en las prácticas de la UEA Laboratorio de Mecanismos, con tan solo variar las dimensiones y posiciones de los componentes de un mecanismo base.

1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Recientemente fue acondicionado un espacio físico que alberga al Laboratorio de Mecanismos en el edificio P3 primer piso, arriba del área de fundición. Dentro de este espacio estarán disponibles para la comunidad universitaria los resultados de este proyecto, así como también el equipo que antiguamente se utilizaba para apoyar a este laboratorio.

Dentro de la UAM-AZC se han construido algunos modelos de mecanismos de cuatro barras (RRRR), de manivela corredera (RRRP) y de manivela corredera inversión tipo I (RRPR) con las consideraciones necesarias para analizar cinemáticamente cada uno de sus eslabones (análisis de posiciones, velocidades y aceleraciones). Éste análisis se lleva a cabo mediante una grabación en video, en la que posteriormente en cada cuadro de video se puede medir indirectamente la posición, la velocidad y la aceleración de cada uno de los eslabones del mecanismo. Estos modelos carecen de la posibilidad de variar la dimensión de sus eslabones móviles. Ésta carencia limita al alumno a experimentar solamente con una configuración del mecanismo, la cual es la configuración original de diseño. Cabe mencionar que la calidad de la manufactura de estos modelos es tal que en ocasiones impide la localización exacta de las juntas que unen a los eslabones, lo que provoca errores al realizar el análisis cinemático a los mecanismos.

Dentro del mercado de material didáctico existe equipo para experimentación con mecanismos de cuatro barras, en los cuales es posible armar diferentes configuraciones de este mecanismo y observar las características del movimiento de sus eslabones, sin embargo, este equipo no fue diseñado para ser videograbado ni para realizar un análisis cinemático del mecanismo armado.

Este proyecto terminal contempla el desarrollo de tres equipos que incluyen todos los elementos necesarios para la experimentación y que son:

- cuatro barras (RRRR) tipo Grashof,
- manivela corredera (RRRP) y,
- manivela corredera inversión tipo I (RRPR)

Con estas mallas elementales se pueden analizar cualquier tipo de mecanismo mencionado en las uueeaa de Mecanismos y su Laboratorio.

El diseño de los eslabones y las juntas que componen a estos tres mecanismos hace posible variar la longitud de los eslabones móviles y la inclinación del eslabón fijo respecto a su mesa de trabajo. Tomando en cuenta estas características, es posible que con este equipo el alumno elija libremente las dimensiones de los mecanismos necesarios para realizar las prácticas de la UEA Laboratorio de Mecanismos.

Este equipo a diferencia de los existentes en la UAM-AZC y en el mercado incluye características que lo hacen apropiado para ser analizado por medio de una cámara de video formato NTSC y software de análisis de imagen. Para el diseño y la simulación de mecanismos con estas características se empleó software tal como: AutoCAD, Inventor y MatLab. La manufactura se realizó en máquinas de control numérico y maquinaria convencional.

1.2 MARCO TEÓRICO

1.2.1 MÁQUINAS Y MECANISMOS

Aún cuando prácticamente todas las personas usan cotidianamente un gran número de máquinas y mecanismos, especialmente en las zonas del mundo más desarrolladas, pocos son los que pueden definir con claridad lo que se entiende por estas palabras.

1.2.1.1 MÁQUINAS

Ni siquiera los especialistas en este campo han llegado a una definición clara y única de este concepto, debido, entre otras razones a su gran complejidad y a los diferentes enfoques que se le pueden dar a la propia máquina. Así, si se lee el diccionario de la Real Academia Española de la lengua, “máquina es cualquier artificio que sirve para aprovechar, dirigir o regular la acción de fuerza”. Según Rouleaux, “máquina es una combinación de sólidos resistentes, dispuestos de manera que obligan a las fuerzas de la naturaleza a efectuar un trabajo, produciéndose ciertos movimientos respuesta en función de movimientos de entrada ejecutados y previstos”.

Dentro del amplio abanico de definición de máquina se incluyen algunos aparentemente jocosos, pero perfectamente realistas, como la definición del economista Echepare: “máquina es un tubo con una entrada por donde se mete dinero y una salida por donde sale mas dinero”.

Moderadamente la máquina se considera el resultado de un diseño (de una construcción) en el que intervienen dos grupos de factores: unos de naturaleza puramente mecánica (las piezas y los mecanismos que la constituyen) y otros de naturaleza no mecánica (estética, mercados, impacto social, régimen político imperante, etc.).

Ambos conjuntos de factores hacen que las máquinas modernas adquieran diversas configuraciones ya características según el entorno sociopolítico y económico en el que diseñan, construyen y utilizan. No hay una línea bien definida entre mecanismos y máquinas. Difieren en grado más que en clase.

“Si las fuerzas y los niveles de energía dentro del dispositivo son significativos, éste se considera una máquina, si no es así, se considera un mecanismo”¹.

1.2.1.1.1 COMPONENTES DE MÁQUINAS

Cualquiera de las máquinas anteriormente mencionadas se compone de un número determinado de elementos (piezas) componentes, unos fijos y otros móviles, agrupados a veces para efectuar tareas diferenciadas dentro de una misma máquina (formando diversos mecanismos).

Así, se encuentran máquinas muy simples, constituidas por muy pocas piezas, hasta máquinas más complejas, constituidas por decenas de miles de piezas.

A pesar de esa enorme complejidad, la verdad es que el número de componentes de las máquinas, conceptualmente diferentes, es bastante limitado (aún cuando en cada máquina puedan presentar formas y tamaños diversos).

El listado de la siguiente página muestra una agrupación tipológica de tales componentes:

¹ NORTON Robert. L., “Diseño de maquinaria”, Ed. MC GRAW HILL, México, 2000, p.4

Elementos de unión:

- Tornillos y tuercas.
- Remaches.

Elementos para la transmisión de rotaciones:

- Árboles.
- Engranajes.
- Correas y poleas.
- Cadenas y ruedas.
- Cables y poleas.
- Ruedas de fricción.

Elementos para la transmisión de movimientos (no rotatorios):

- Manivelas y cigüeñales.
- Bielas.
- Correderas (pistones).
- Levas y seguidores.

Elementos de soporte:

- Bastidores.
- Cojinetes de fricción.
- Cojinetes de rodamientos.
- Ejes.

Elementos neumáticos e hidráulicos:

- Cilindros.
- Válvulas.
- Bombas.

Elementos de sistemas de control

- Sensores (mecánicos, eléctricos, etc.).

1.2.1.2 MECANISMOS

Un mecanismo es una cadena cinemática “la agrupación de varios pares elementales de modo que todos los miembros formen parte, al mismo tiempo de dos pares simultáneamente”² a la que se le ha inmovilizado uno de sus miembros a este miembro fijo se le llama bastidor.

Puede haber una máquina compuesta por varios mecanismos, en la que un miembro móvil de uno de ellos sea el bastidor de otro de sus mecanismos.

En muchas máquinas, sin embargo, el bastidor está unido solidariamente al suelo, a través de una fundación de hormigón, que se denomina bancada.

De una cadena cinemática pueden obtenerse tantos mecanismos como miembros tenga, a medida que se fijen sucesivamente cada uno de ellos. Cada uno de estos mecanismos se llama inverso del que se ha tomado como fundamental.

1.2.1.2.1 REPRESENTACIÓN DE MECANISMOS

Con el fin de simplificar el estudio de los mecanismos, nunca se dibujan éstos en su totalidad, con la forma y dimensiones de cada uno de sus miembros y pares, sino que se sustituye el conjunto por un esquema, formado generalmente por los ejes de los diferentes miembros (o por las líneas de unión de los centros de cada una de sus articulaciones). Estas articulaciones no se dibujan por regla general, aunque a veces pueden representarse por pequeños círculos o rectángulos.

² CALERO P., CARTA G., “Fundamentos de mec...”, Ed. MC GRAW HILL, España, 1999, p.29

Con el fin de simplificar el estudio de los mecanismos, nunca se dibujan éstos en su totalidad, con la forma y dimensiones de cada uno de sus miembros y pares, sino que se sustituye el conjunto por un esquema, formado generalmente por los ejes de los diferentes miembros (o por las líneas de unión de los centros de cada una de sus articulaciones). Estas articulaciones no se dibujan por regla general, aunque a veces pueden representarse por pequeños círculos o rectángulos.

Se denominará siempre al miembro fijo de cualquier mecanismo con el número uno, numerando todos los demás miembros con orden creciente, con números sucesivos.

En las articulaciones fijas (unión de un miembro móvil con el fijo) se les denomina con la letra O, seguida por los subíndices que indican a los dos miembros que se unen, por ejemplo, la unión del miembro cuatro y el fijo se representará por O₁₄.

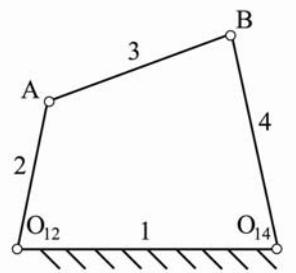
Las articulaciones móviles se designarán por letras mayúsculas sin subíndice (A, B, C).

1.2.1.2.2 CLASIFICACIÓN DE MECANISMOS

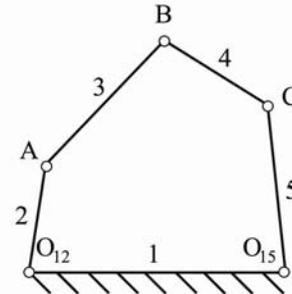
De acuerdo a la forma en que se mueven sus miembros, los mecanismos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **ATENDIENDO A LA MOVILIDAD DE SUS MIEMBROS:**

De los mecanismos de la figura 1, con el miembro fijo uno en ambos, en el mecanismo de la izquierda se observa como fijada la posición de cualquiera de los miembros móviles queda automáticamente fijada la posición de los otros miembros, lo que no ocurre con el de la derecha.



Mecanismo desmodrómico



Mecanismo no desmodrómico

Fig. 1. Mecanismos desmodrómico y no desmodrómico (Calero, 1999).

El primero se denomina desmodrómico o de movilidad determinada y el segundo, no desmodrómico o de movilidad indeterminada.

- ATENDIENDO AL TIPO DE MOVIMIENTO DE SUS MIEMBROS

Pueden clasificarse mecanismos planos (o con movimiento plano), en los que cualquier punto, de cualquier miembro, se mueve siempre en una trayectoria que se encuentra en un plano (aunque no necesariamente todos los miembros se han de mover en el mismo plano) y en mecanismos no planos o espaciales, en que en alguno de sus miembros no se mueve solamente en un plano.

1.2.1.2.2.1 MECANISMOS PLANOS

Debido a que en el mundo existe un número infinito de mecanismos, su estudio en la ingeniería mecánica es bastante amplio. Existen tres mallas elementales para el estudio de los mecanismos, ya que cualquier tipo de mecanismo se puede analizar como una combinación de ellas, éstas son:

- Mecanismo de cuatro barras
- Mecanismo de manivela corredera
- Inversión de mecanismo de manivela corredera

1.2.1.2.2.1.1 COMPONENTES DE

MECANISMOS PLANOS

Los componentes básicos de todos los mecanismos más comunes (levas, engranes, bandas, cadenas) son de hecho variantes de una clase común de eslabonamientos, los cuales se componen de eslabones y juntas.

Un *eslabón* es hipotéticamente un cuerpo rígido que posee por lo menos dos nodos, que son los puntos de unión con otros eslabones.

Tipos de eslabones:

Eslabón binario es el que tiene dos nodos, eslabón terciario es el que tiene tres nodos, eslabón cuaternario es el que tiene cuatro nodos y así sucesivamente.

Eslabón fijo es el que se encuentra unido firmemente al marco de referencia.

Manivela es el eslabón que puede realizar una rotación completa sobre cualquiera de sus juntas, no necesariamente respecto al eslabón fijo.

Acoplador es el eslabón que conecta en sus extremos con otros eslabones que presentan movimiento. Presentan movimiento de traslación rotación simultánea.

Oscilador es un eslabón que presenta movimiento angular alternativo, sin llegar a realizar una revolución completa.

Una *junta o par* es una conexión entre dos o más eslabones (en sus nodos), lo cual permite algún movimiento o movimiento potencial entre los eslabones conectados.

Las juntas llamadas también pares cinemáticos se pueden clasificar de varios modos:

- Por el tipo de contacto entre los elementos: de línea, de punto o de superficie.
- Por el número de grados de libertad permitidos en la junta.
- Por el tipo de cierre de la junta, de fuerza o de forma.
- Por el número de eslabones conectados (orden de la junta).

Reuleaux acuñó el término par inferior (junta completa) para describir juntas con contacto de superficie (como el de un pasador dentro de su agujero) y al término de par superior (semijunta) para describir las juntas con contacto de punto o línea. Sin embargo si hay holgura o espacio libre entre el pasador y su agujero (como debe ser para que haya movimiento), el contacto de la superficie en la junta de pasador es contacto de línea pues el pasador solo toca un lado del hueco. La principal ventaja de los pares superiores sobre los pares inferiores es su mayor capacidad para tapar lubricante entre las superficies envolventes, por lo tanto se prefiere la junta de pasador para el caso de bajo desgaste y larga duración.

Tipos de juntas:

Junta implícita se presenta cuando más de dos eslabones se encuentran sujetos mediante el mismo elemento específico.

Junta redundante es aquella junta que conecta un eslabón que al ser retirado no modifica la cinemática de todo el conjunto.

Junta de revoluta es la unión que solo permite movimiento rotacional entre los eslabones que une.

Junta prismática es la unión que solo permite movimiento traslacional entre los eslabones que une, también llamada corredera.

Cierre de junta es el medio físico que mantiene unidos a los eslabones presentes en la junta. Puede ser de forma o de fuerza.

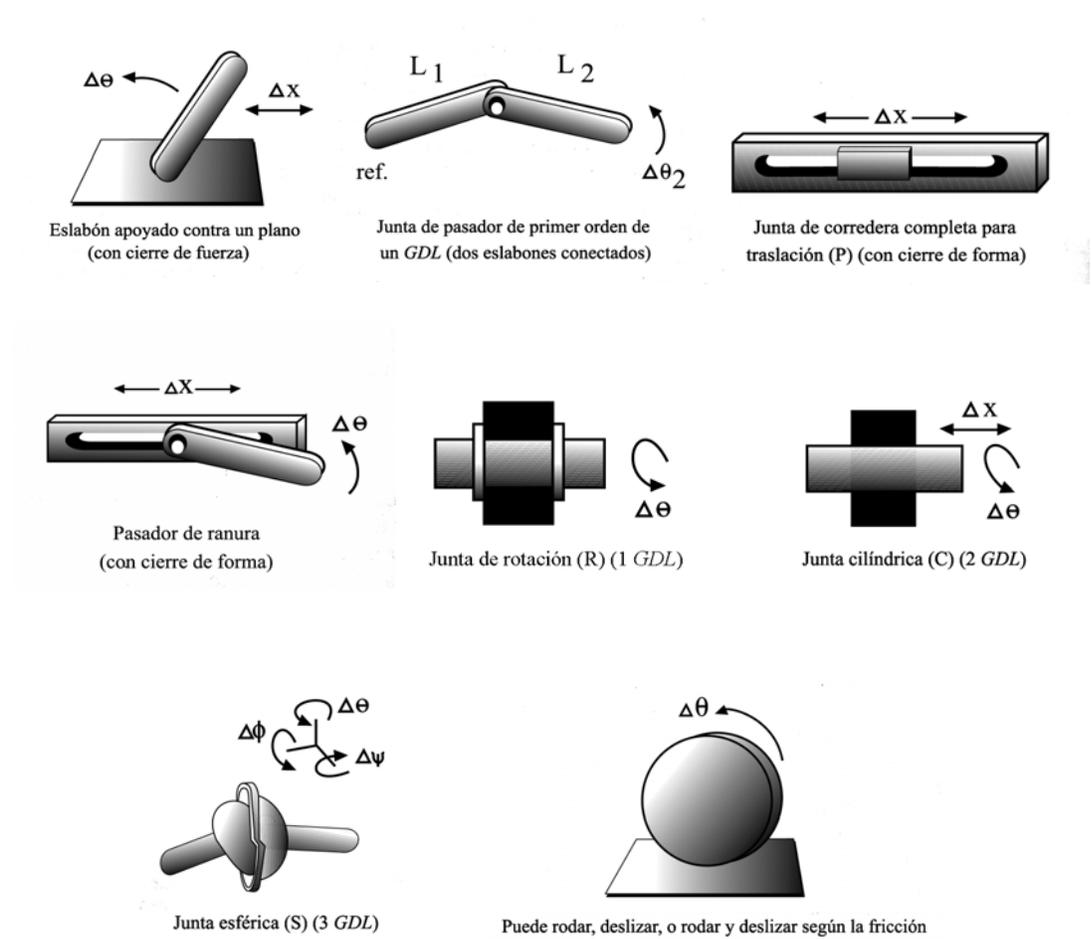


Fig. 2. Diversos tipos de juntas (Norton, 2000).

1.2.1.2.2.1.2 GRADO DE LIBERTAD

DE UN MECANISMO PLANO

El grado de libertad de un sistema (también llamado movilidad M) se puede definir como el número de entradas que se necesita proporcionar con la finalidad de crear una salida predecible o también como el número de coordenadas independiente requerido para definir su posición.

Cada entrada requerida necesitará de algún tipo de actuador, ya sea un operario humano o algún otro en forma de motor, solenoide, cilindro neumático o de otro dispositivo cilíndrico convertidor de energía.

Estos dispositivos de entradas múltiples deberán coordinar sus acciones por medio de un “controlador”, que a su vez debe poseer cierto grado de inteligencia.

Este controlador se suele proporcionar mediante una computadora, pero también puede estar programado mecánicamente dentro del diseño del mecanismo.

Para determinar los grados totales de un mecanismo se debe tener en cuenta el número de eslabones y juntas, así como las interacciones entre ellos. Los grados de libertad de un ensamblaje de eslabones pueden predecirse a partir de una investigación de Gruebler:

$$M = 3L - 2J - 3G \quad (1)$$

$M =$ Grados de libertad o movilidad

$L =$ Número de eslabones

$J =$ Número de juntas

$G =$ Número de eslabones fijos

Observe que en un mecanismo real, aún cuando más de un eslabón de la cadena cinemática esté fijo, el efecto neto será crear un eslabón fijo mayor y de orden superior, ya que solo hay un plano de sujeción.

Por tanto G es siempre igual a uno y la ecuación de Gruebler se convierte en:

$$M = 3(L-1) - 2J \quad (2)$$

El valor de las ecuaciones 1 Y 2 debe reflejar el valor de todas las juntas en el mecanismo. Es decir, las semijuntas cuentan como $\frac{1}{2}$ debido a que solo eliminan un grado de libertad. Esto es menos confuso si se utiliza la modificación de Kutzbach para la ecuación de Gruebler en esta forma:

$$M = 3(L-1) - 2J_1 - J_2 \quad (3)$$

M = Grados de libertad con movilidad.

L = Número de eslabones.

J_1 = Número de juntas completas.

J_2 = Número de semijuntas.

1.2.1.2.2.1.3 MECANISMO DE CUATRO

BARRAS ARTICULADAS (4B Ó RRRR)

Es uno de los mecanismos más simples y útiles, en la figura siguiente se ilustra uno de ellos.

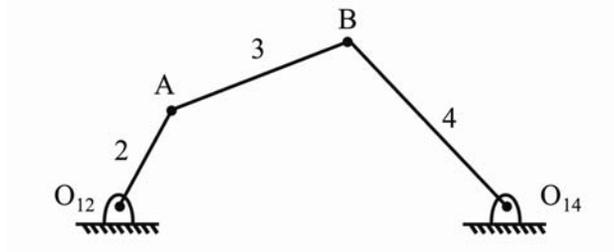


Fig. 3. Mecanismo de cuatro barras (Mabie, 2006)

El eslabón 1 es el marco de referencia o eslabón fijo. El eslabón 2 es el motor que puede girar completamente (manivela) o puede oscilar (balancín). En cualquiera de los dos casos, el eslabón 4 oscila. Si el eslabón 2 gira completamente, entonces el mecanismo transforma el movimiento rotatorio en movimiento oscilatorio. Si la manivela oscila, entonces el mecanismo multiplica el movimiento oscilatorio.

El mecanismo de 4 barras es el mecanismo articulado más simple posible para movimiento controlado de un grado de libertad. También aparece en diversas facetas, como el dispositivo de manivela-corredora y de leva-seguidor. Es, de hecho el dispositivo más común utilizado en maquinaria. Es extremadamente versátil en función de los tipos de movimiento que puede generar.

“La sencillez es una marca distintiva del buen diseño”³. Por tanto, el eslabonamiento de 4 barras debe considerarse dentro de las primeras soluciones para problemas de control de movimiento que hay que investigar.

1.2.1.2.2.1.3.1 CONDICIÓN DE GRASHOF

La condición de *Grashof* es una relación muy simple que pronostica el comportamiento de rotación o rotabilidad de las inversiones de un eslabonamiento de cuatro barras con base solo en las longitudes de sus eslabones. Si:

$$S + L \leq P + Q \quad (4)$$

S = Longitud del eslabón más corto.

L = Longitud del eslabón más largo.

P = Longitud de un eslabón restante.

Q = Longitud de otro eslabón restante.

³ NORTON Robert. L., op. cit., p.50

El eslabonamiento es de Grashof y por lo menos un eslabón será capaz de realizar una revolución completa con respecto al plano de fijación. A esta se le llama cadena cinemática de clase I.

Si la desigualdad anterior no es cierta, el eslabonamiento es no Grashof y ningún eslabón podrá realizar toda una revolución. Esta es una cadena cinemática de clase 2.

Los movimientos posibles a partir de un eslabonamiento de 4 barras dependerán de la condición de Grashof y de la inversión elegida. Las inversiones se definirán en relación con el eslabón más corto.

Caso I, $S + L < P + Q$

Si se fija uno u otro eslabón adyacente al más corto, se obtiene una manivela-balancín, en la cual el eslabón más corto girará completamente y el otro eslabón oscilará pivotado a la fijación.

Si se fija el eslabón más corto se logrará una doble-manivela, en la que tanto el acoplador como los eslabones pivotados a la fijación realizan revoluciones completas.

Si se fija el eslabón opuesto al más corto se obtendrá un doble-balancín de Grashof, en el que oscilan los dos eslabones fijos pivotados a la fijación y solo el acoplador realiza una revolución completa.

Caso II, $S + L > P + Q$

Todas las inversiones serán triples-balancines, en las cuales ningún eslabón puede girar completamente.

Caso III, $S + L = P + Q$

Designado este como caso especial de Grashof y también como cadena cinemática de clase III, de todas las inversiones serán dobles-manivelas, o manivelas-balancín, pero tendrán puntos de cambio dos veces por revolución de la manivela de entrada cuando todos los eslabones quedan colineales. En estos puntos de cambio el comportamiento de salida será indeterminado.

1.2.1.2.2.1.4 MECANISMO MANIVELA**CORREDERA (MC ó RRRP)**

El mecanismo de cuatro barras puede convertirse en el mecanismo manivela corredera mostrado en la figura 4 si el centro O_{14} (mostrado en la figura 3) se desplaza al infinito. Este mecanismo se emplea ampliamente y encuentra su mayor aplicación en el motor de combustión interna, en donde el eslabón 1 es el marco que se considera fijo, el eslabón 2 es el cigüeñal, el eslabón 3 la biela y el eslabón 4 el pistón. En el motor de combustión interna, el eslabón 4 es el pistón sobre el que se ejerce la presión del gas. Este mecanismo también se emplea en las compresoras de aire, en que un motor eléctrico mueve al cigüeñal que a su vez mueve al pistón que comprime el aire.

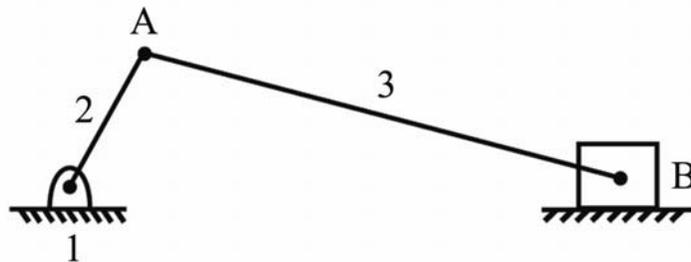


Fig. 4. Mecanismo de manivela-corredera (Mabie, 1996)

El eslabón 2 es llamada manivela, el eslabón 3 acoplador y el eslabón 4 puede llamarse pistón ó corredera.

Para hallar las condiciones bajo las cuales el eslabón 2 pueda ejecutar revoluciones completas, es suficiente considerar una excentricidad mayor o igual 0, “ya que valores negativos de ésta representan un reflejo del mecanismo de la figura 4”⁴.

De este modo cumplir la siguiente desigualdad:

$$r + e \leq L \quad (5)$$

r = Longitud del eslabón 2.

e = Excentricidad.

L = Longitud del eslabón 3.

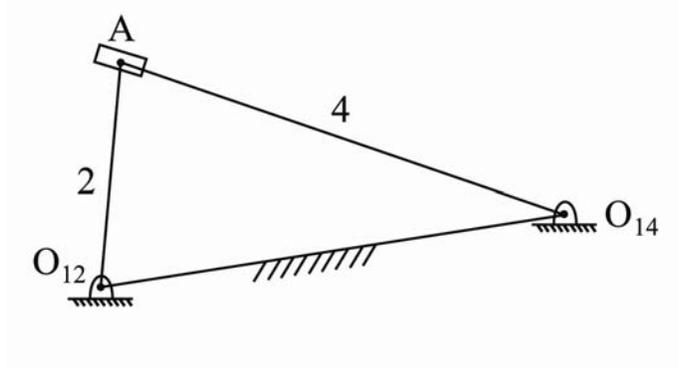
1.2.1.2.2.1.5 MECANISMO INVERSIÓN TIPO

I DE MANIVELA CORREDEIRA (RRPR)

Una inversión se crea mediante la fijación de un eslabón diferente en la cadena cinemática. Por tanto, hay tantas inversiones de un eslabonamiento dado como eslabones haya. Los movimientos resultantes de cada inversión pueden ser muy distintos, pero algunas inversiones de un eslabonamiento pueden producir movimientos similares a los de otras inversiones del mismo eslabonamiento. En estos casos solo algunas de las inversiones pueden tener claramente movimientos diferentes. Se designan las inversiones que tienen movimientos específicamente diferentes como inversiones específicas.

En la figura 5 se muestra el mecanismo inversión de manivela corredera tipo I.

⁴ PAUL Burton, “Kinematics and Dynamics of...”, Ed. PRENTICE-HALL, E.U.A., 1979, p.26



*Fig. 5. Mecanismo manivela corredera inversión
Tipo I (Pérez, 2004)*

En este mecanismo el eslabón dos siempre puede ejercer revoluciones completas bajo cualquier condición, sin importar el tamaño de los eslabones, como ocurre para el mecanismo de cuatro barras y el de manivela corredera.

1.2.2 MATERIALES EN INGENIERÍA

En las últimas dos décadas ha tenido lugar un veloz desarrollo de los materiales en ingeniería, dando como resultado un enorme número de materiales comerciales con una amplia gama de propiedades.

La elección de los materiales que hace el ingeniero se debe basar en las propiedades químicas, físicas, mecánicas y también en las propiedades tecnológicas, las cuales describen la conveniencia de un material para un proceso particular de manufactura.

1.2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

Los materiales en ingeniería pueden dividirse en grupos que muestran relaciones importantes. Los principales grupos son los materiales metálicos, los materiales no metálicos y los materiales compuestos. Los materiales compuestos están

formados por dos o más materiales, de tal manera que se obtienen propiedades nuevas y especiales. Los materiales metálicos se dividen en materiales ferrosos y no ferrosos. Los materiales no metálicos se subdividen en polímeros, cerámicas y vidrios.

1.2.2.1.1 MATERIALES METÁLICOS

Los metales se caracterizan por el enlace metálico, en donde los iones del metal se mantienen unidos por una nube de electrones. Este tipo de enlace tiene una alta movilidad de los electrones libres, lo que explica el alto nivel de resistencia, ductilidad y relativamente alta temperatura de fusión de los metales.

1.2.2.1.1.1 METALES FERROSOS

En los materiales ferrosos el elemento principal es el hierro (Fe), que tiene alguna cantidad de carbono (C). Los aceros son aleaciones de Fe y C con menos de 2% de C; los hierros colados contienen de 2 a 4% de C.

Los aceros al carbono puros (aleaciones de Fe y C) representan una pequeña fracción de los aceros que hoy en día se utilizan. La mayoría de los aceros están aleados con otros elementos para obtener mayor resistencia, mejor capacidad de endurecimiento, mejores propiedades a altas y bajas temperaturas, mejor resistencia a la corrosión y mejores propiedades de manufactura.

La maquinabilidad de un material depende primordialmente de sus propiedades mecánicas (ductilidad y dureza), su composición química y su tratamiento térmico (estructura).

Los aceros se clasifican en dos grupos principales: aceros para la construcción (<0.9% de C) y aceros para herramientas (0.5-2% de C).

El hierro fundido (fundición) que tiene de 2 a 3.8% de C y cantidades variables de Si, Mn, P y S y de otros elementos especiales es un material muy importante. Este material tiene excelente moldeabilidad y maquinabilidad, magníficas propiedades funcionales y un bajo precio.

1.2.2.1.1.2 METALES NO FERROSOS

La importancia de los metales no ferrosos está creciendo cada vez más, ya que éstos proporcionan propiedades importantes que de los aceros no pueden obtenerse; por ejemplo:

- Alta resistencia a la corrosión
- Facilidad de fabricación
- Alta conductividad eléctrica y térmica
- Baja densidad
- Alta relación resistencia/peso
- Color atractivo

No todos los metales no ferrosos poseen todas estas cualidades, pero casi todos tienen por lo menos dos sin necesidad de elementos aleantes especiales.

En general la resistencia de los metales no ferrosos es más baja que la de los aceros, pero debido a su relación resistencia/peso puede ser bastante alta. El módulo de elasticidad es bastante bajo y eso es una desventaja cuando lo que se requiere es rigidez. La mayoría de los materiales no ferrosos tienen un punto de fusión relativamente bajo y en general son fáciles de fundir en moldes de arena o permanentes y a menudo pueden ser trabajados en frío para obtener formas complejas por su alta ductilidad y bajo esfuerzo de cedencia.

A continuación se mencionan algunos grupos de materiales no ferrosos:

• **COBRE /ALEACIONES DEL COBRE:**

El cobre es uno de los metales más conocidos por los seres humanos desde la antigüedad, en la antigüedad se podía encontrar el elemento en forma pura, pero ahora es difícil encontrarlo en depósitos naturales, ahora se extrae principalmente de sulfuros.

Es muy usado en la industria eléctrica para cables, alambres, bobinas y otros productos similares, debido a su alta conductividad eléctrica y también es usado para termocambiadores, envases, etc., por su alta conductividad térmica.

Las más importantes aleaciones del cobre son el latón, que es cobre aleado con 10 – 40% de cinc y el bronce, que es cobre aleado con estaño, aluminio o níquel y se llama, respectivamente, bronce de estaño, bronce de níquel y bronce de aluminio.

ALUMINIO/ALEACIONES DE ALUMINIO:

El aluminio es un metal ligero y por este motivo se usa frecuentemente para aplicaciones de ingeniería.

El aluminio se encuentra principalmente en tierra, pero aunque es un material abundante es difícil de extraer. En los últimos años ha llegado a ser uno de los materiales industriales más importantes. Esto es debido a su alta relación resistencia/peso, alta resistencia a la corrosión y buena conductividad eléctrica. Las aplicaciones incluyen cables de alto voltaje, equipo para las industrias: química, de lácteos y de la construcción de muebles de cocina.

El aluminio a menudo se alea con silicio, magnesio, cobre, manganeso y cinc y a veces con níquel, hierro, titanio y berilio en pequeñas cantidades.

El aluminio aleado con silicio es extensamente usado en la industria automotriz para la fabricación de componentes de máquinas. Las aleaciones con silicio y magnesio pueden ser endurecidas por tratamiento térmico.

Si el aluminio está aleado con cobre se puede obtener una muy alta resistencia mediante un tratamiento térmico, pero las propiedades contra la corrosión son bastantes deficientes.

Para utilizar aluminio debe hacerse una cuidadosa selección entre las aleaciones disponibles para satisfacer los requisitos funcionales y de manufactura. La mayoría de aleaciones de aluminio usadas para procesos de conformación tienen una buena ductilidad y conformabilidad en caliente y en frío.

• **MAGNESIO/ALEACIONES DE MAGNESIO:**

El magnesio es un material que se caracteriza por ser el más ligero de los metales estructurales, pero tiende a oxidarse fácilmente y es altamente inflamable. Se utiliza en general aleado con otros elementos porque obtiene altas relaciones resistencia/peso.

El más importante elemento aleante es el aluminio en la proporción de 6-8% para aleaciones de fundición en arena y en dado y en la proporción 3-8% para otras aleaciones, las cuales se llegan a alea con cinc y manganeso. Se pueden obtener la mayor resistencia tratando las aleaciones con cinc, circonio y torio térmicamente.

Las aleaciones de magnesio se utilizan en aplicaciones en donde se desea reducir el peso: en las industrias aeronáutica y espacial, automotriz y en ciertos campos de la industria mecánica en general.

- **CINC/ALEACIONES DE CINC:**

El cinc se destaca por ser un material con un punto de fusión relativamente bajo lo cual lo hace atractivo como un metal de fundición y al igual que el Níquel sirve de recubrimiento para otros metales para evitar corrosión, generalmente se utiliza el termino galvanizado cuando se aplica zinc sobre otro material.

40% del cinc que se produce en todo el Mundo se utiliza para recubrimientos, 25% como elemento aleante en el cobre y 10% para láminas en la industria de la construcción. Las industrias de las baterías y las artes gráficas también emplean grandes cantidades de cinc.

En materiales para la construcción predomina el uso de aleaciones finas de cinc con contenidos muy bajos de estaño, plomo y cadmio porque éstas obtienen alta resistencia a la corrosión. Los principales elementos aleantes son el aluminio (4-6%) y el cobre (1-2%).

Las aleaciones finas de cinc tienen buenas propiedades de resistencia y de ductilidad y se les da forma principalmente por fundición. Sus aplicaciones incluyen accesorios automotrices, muebles de cocina, máquinas de oficina, herramientas y juguetes. Las tolerancias obtenidas normalmente son tan buenas que no necesitan de un posterior maquinado u otros procesos.

1.2.2.1.2 MATERIALES NO METÁLICOS

Se clasifican generalmente según su origen en materiales de origen orgánico y materiales de origen inorgánico.

1.2.2.1.2.1 MATERIALES ORGÁNICOS

Son así considerados cuando contienen células de vegetales o animales. Estos materiales pueden usualmente disolverse en líquidos orgánicos como el alcohol o

los tetracloruros, no se disuelven en el agua y no soportan altas temperaturas. Algunos de los representantes de este grupo son:

- Plásticos
- Productos del petróleo
- Madera
- Papel
- Hule
- Piel

1.2.2.1.2.2 MATERIALES INORGÁNICOS

Son todos aquellos que no proceden de células animales o vegetales o que son relacionados con el carbón. Por lo regular se pueden disolver en el agua y en general resisten el calor mejor que las sustancias orgánicas. Algunos de los materiales inorgánicos más utilizados en la manufactura son:

- Los minerales
- El cemento
- La cerámica
- El vidrio
- El grafito (carbón mineral)

1.2.2.1.3 MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales compuestos son materiales de ingeniería hechos de 2 o más componentes distinguibles físicamente y separables mecánicamente.

Presentan varias fases químicamente distintas, completamente insolubles entre sí y separadas por una intercara.

Sus propiedades son superiores a la simple suma de las propiedades de sus componentes (sinergia).

Un componente suele ser un agente reforzante como una fibra fuerte: fibra de vidrio, cuarzo, kevlar, Dyneema o fibra de carbono que proporciona al material su fuerza a tracción, mientras que otro componente (llamado matriz) que suele ser una resina como epoxy o poliéster que envuelve y liga las fibras, transfiriendo la carga de las fibras rotas a las intactas y entre las que no están alineadas con las líneas de tensión. También, a menos que la matriz elegida sea especialmente flexible, evita el pandeo de las fibras por compresión. Algunos compuestos utilizan un agregado en lugar de, o en adición a las fibras.

Así, la matriz tiene un carácter continuo, mientras que el agente reforzante tiene un carácter discontinuo.

En términos de fuerza, las fibras (responsables de las propiedades mecánicas) sirven para resistir la tracción, la matriz (responsable de las propiedades físicas y químicas) para resistir las deformaciones, y todos los materiales presentes sirven para resistir la compresión, incluyendo cualquier agregado.

Los golpes o los esfuerzos cíclicos pueden causar que las fibras se separen de la matriz, lo que se llama delaminación.

Algunas limitaciones que se presentan al emplear materiales compuestos son dificultades de fabricación, incompatibilidad de materiales y un costo elevado.

Ejemplos de materiales compuestos:

- Plásticos reforzados con fibra:
 - Clasificados por el tipo de fibra: Madera (fibras de celulosa en una matriz de lignina y hemicelulosa), plástico reforzado de fibra de carbono, plástico reforzado de fibra de vidrio.
 - Clasificados por la matriz: Compuestos termoplásticos, termoplásticos reforzados por fibra larga, termoplásticos tejidos de vidrio.

- Compuestos termoformados o termoestables.
- Compuestos de matriz metálica o MMCs: Cermet (cerámica y metal), fundición blanca, metal duro (carburo en matriz metálica), laminado metal-intermetal.
- Compuestos de matriz cerámica: Hormigón/Concreto, carbono-carbono reforzado (fibra de carbono en matriz de grafito), hueso (matriz ósea reforzada con fibras de colágeno).
- Compuestos de matriz orgánica/agregado cerámico: Madreperla o nácar, concreto asfáltico.
- Madera mejorada: Plywood, tableros de fibra orientada, trex, weatherbest (fibra de madera reciclada en matriz de polietileno), pycrete (aserrín en matriz de hielo).

1.2.3 PROCESOS DE MANUFACTURA Y ENSAMBLE

El término proceso se puede definir en forma general como un cambio en las propiedades de un objeto, incluyendo geometría, dureza, estado y contenido de información (datos sobre forma)s.

1.2.3.1 PROCESOS BASICOS

Los procesos básicos son aquellos que crean cambios en la geometría y/o en las propiedades de los materiales. Éstos se caracterizan por la naturaleza de su interacción con el material.

Las tres principales categorías de los procesos básicos son las siguientes:

- **Mecánicas:** Deformación plástica, deformación elástica, fractura frágil, fractura dúctil, flujo, mezcla, separación, transporte, etc.

- **Térmicos:** Calentamiento, enfriamiento, fusión, solidificación, evaporación, condensación, etc.
- **Químicos:** Solución- disolución, combustión, endurecimiento, precipitación, transformación de fase, difusión, etc.

Si solo se toman en cuenta los procesos básicos que producen cambios geométricos, el número de procesos básicos primarios se reduce a los mostrados a continuación:

- **Mecánicos:** Deformación plástica, fractura (frágil y dúctil), deformación plástica y flujo (colocación, llenado, etc.).
- **Térmico:** Fusión y evaporación.
- **Químico:** Solución- disolución (electrolítica y química), depositación (electrolítica y química), combustión.

Los procesos de manufactura se pueden caracterizar de acuerdo al sistema de flujo de material. Se distinguen tres tipos de flujo: procesos de conservación de masa, procesos de reducción de masa y procesos de unión o ensamble ⁶. Esta clasificación se muestra en la tabla de la página siguiente:

⁵ ALTING Leo, "Procesos para ingeniería de manufactura", Ed. ALFAOMEGA, Nueva York , 1996, p.1

⁶ *Ibid.*, p.2

Tipo de flujo o proceso	Estado del material	Categoría del proceso primario	Proceso básico primario	Ejemplos de procesos
Procesos de conservación de masa (dM = 0)	Sólido	Mecánico	Deformación plástica	Forja y laminación
	Granular	Mecánico	Flujo y deformación plástica	Compactación de polvos
Procesos de reducción de masa (dM < 0)	Líquido	Mecánico	Flujo	Fundición
		Térmico	Fractura dúctil y frágil	Torneado, fresado y taladrado
Procesos de unión	Sólido	Químico	Fusión y evaporación	Maquinado por electroerosión y corte
			Disolución	Maquinado electroquímico
Enlace atómico	Sólido	Mecánico	Combustión	Corte
Adhesión	Líquido (en la vecindad de la unión)	Mecánico	Deformación plástica	Soldadura por rozamiento
	Sólido (material líquido de aporte)	Mecánico	Flujo	Soldadura por fusión
				Soldadura fuerte o dura

Tabla 1. Clasificación de procesos tecnológicos para dar forma a los materiales (Alting, 1996).

La selección del tipo de flujo o proceso depende de los requerimientos del material, geometría, acabado superficial, tolerancias, volumen de producción, precio y otros factores

1.2.3.2 PROCESOS TECNOLÓGICOS

PARA DAR FORMA A LOS MATERIALES

Existen varios procesos tecnológicos empleados para dar forma a los materiales

1.2.3.2.1 TORNEADO

El torneado puede caracterizarse como un proceso básico primario de tipo mecánico. El proceso de torneado es el mejor conocido y el más usado de los

procesos de reducción de masa, se emplea para manufacturar todo tipo de formas cilíndricas eliminando material en forma de rebaba con una herramienta de corte.

Durante el torneado el material de trabajo gira mientras la herramienta de corte avanza hacia él en forma longitudinal. El material de la herramienta de corte es más duro y resistente al rozamiento que el material de trabajo. Existen diversos tipos de tornos, algunos de los cuales son de operación automática. Los tornos generalmente reciben energía de un motor eléctrico, el cual mediante diversos engranajes proporciona la rotación necesaria al material de trabajo y al avance a la herramienta de corte.



Fig. 6. Torno horizontal.

Varios procesos de maquinado se basan en el mismo principio de corte de metal; algunos comunes son el fresado y el taladrado que se efectúan en diversas máquinas herramienta. Variando la geometría de la herramienta y los movimientos relativos entre la pieza de trabajo y la herramienta se pueden producir componentes de muchas formas diferentes.

- **Requerimientos del material:** El material de trabajo no debe ser muy duro ($HB < 300$) y debe poseer una ductilidad mínima para confinar mayormente la deformación a la zona de corte.
- **Tolerancias/superficies:** En el torneado pueden producirse tolerancias pequeñas, con frecuencia inferiores a ± 0.01 mm. La calidad de la superficie es buena, alrededor de $3 \leq Ra \leq 12$ μm .
- **Maquinaria:** En el mercado existe una gran variedad de tornos, por ejemplo, el torno común, el torno revólver, el torno de roscar de uno o varios árboles, los tornos automáticos y los tornos de control numérico.

1.2.3.2.2 FRESADO

Es una operación de maquinado en la cual se hace pasar una parte de trabajo enfrente de una herramienta cilíndrica rotatoria con múltiples bordes o filos cortantes.

El fresado es un proceso versátil de alta producción debido a que existen diversos tipos de cortadores y una variedad de máquinas muy amplia. Mediante los variados accesorios (cabezal divisor, aditamentos, etc.) se pueden producir muchas formas especiales. El proceso de fresado le sigue de cerca al torneado por su amplio uso en la industria.

- **Requerimientos del material:** La dureza del material no debe ser demasiado alta ($HB < 250-300$) y es aconsejable un mínimo de ductilidad.
- **Tolerancias/superficiales:** Las tolerancias que se obtienen normalmente son buenas ($\approx \pm 0.05$ mm) y la calidad de las superficies es alta, $1 \leq Ra \leq 10$ μm .
- **Maquinaria:** Se dispone de una amplia variedad de fresadoras: horizontales, universales, verticales, copiadoras, de mesa giratoria, de control numérico computarizado (CNC), entre otras.



Fig. 7. Fresadora vertical.



Fig. 8. Fresadora CNC.

Con frecuencia es más económico y en algunas ocasiones la única posibilidad práctica por razones de tamaño o geometría, producir el componente deseado mediante la unión de dos o mas elementos producidos mediante los métodos de manufactura anteriormente mencionados.

Si se quieren unir los componentes A y B de la figura 9, hay tres tipos de unión principales para hacerlo:

- Tipo 1. Los elementos pueden ser unidos permanentemente por coalescencia localizada, basándose en la cohesión y/o adhesión entre los elementos.
- Tipo 2. Los elementos pueden ser unidos por acoplamiento o ajuste geométrico de los elementos, basándose en la deformación elástica o plástica.
- Tipo 3. Los elementos pueden ser unidos usando elementos especiales de unión o sujetadores (remaches, pernos, tornillos, etc.).

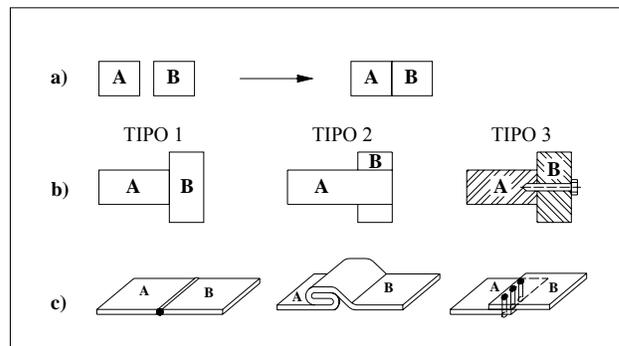


Fig. 9. Unión de dos elementos, A y B (Alting, 1996).

La unión de los elementos puede ser permanente o temporal, la siguiente tabla muestra algunos métodos característicos de unión, divididos en métodos permanentes y temporales.

PRINCIPIOS DE UNIÓN	ENSAMBLES PERMANENTES	ENSAMBLES TEMPORALES
Tipo 1 (cohesión/adhesión)	Soldadura autógena, soldadura fuerte, soldadura blanda, unión con adhesivos.	
Tipo 2 (acoplamiento geométrico)	Contracción (compresión), costura.	
Tipo 3 (elementos de unión)	Remachado.	Empernado/atornillado, ensambles con: cuñas, clavos, aros de seguridad, etc.

Tabla 2. Clasificación de algunos métodos característicos de unión, permanentes y permanentes temporales (Alting, 1996).

1.2.3.3 SOLDADURA

La soldadura es un proceso de unión de materiales en la cual se funden las superficies de contacto de dos (o más) partes mediante la aplicación conveniente de calor o presión.

La soldadura es un proceso relativamente nuevo, su importancia comercial y tecnológica se deriva de lo siguiente:

- La soldadura proporciona unión permanente
- La unión soldada puede ser más fuerte que los materiales originales.
- En general, la soldadura es una forma más económica de unir componentes, en términos de uso de materiales y costos de fabricación.
- La soldadura no se limita al ambiente de fábrica. Puede realizarse en el campo.

1.2.3.4 UNIONES ADHESIVAS

El uso de adhesivos data de épocas antiguas, y el pegado fue probablemente el primero de los métodos de unión permanente utilizado. Los adhesivos tienen un alto rango de aplicaciones de unión y sellado, para integrar materiales similares y diferentes, como metales, plásticos, cerámica, madera, papel y cartón entre otros.

La unión con adhesivos es un proceso en el cual se usa un material ajeno a los materiales que se desea unir para la fijación de ambas superficies.

Generalmente, las uniones con adhesivos no son tan fuertes como las que se hacen con soldadura, y para eso se toman en cuenta algunos principios:

- Se debe maximizar el área de contacto de la unión
- Los pegados son más fuertes en corte y en tensión, y las uniones deben diseñarse para que se apliquen este tipo de esfuerzos.
- Los pegados son más débiles en hendiduras o desprendimientos.

1.2.3.4.1 TIPOS DE ADHESIVOS

Existe una gran cantidad de adhesivos comerciales, pero todos estos pueden clasificarse dentro de 3 categorías:

- **Adhesivos naturales:** son materiales derivados de fuentes como plantas y animales, e incluyen las gomas, el almidón, la dextrina, el flúor de soya y el colágeno. Este tipo de adhesivos se limita aplicaciones de bajo tensión.
- **Adhesivos inorgánicos:** se basan principalmente en el silicio de sodio y el oxiclورو de magnesio, aunque el costo de estos es relativamente bajo, su resistencia es similar a los naturales.

- **Adhesivos sintéticos:** constituyen la categoría más importante en la manufactura; incluyen diversos polímeros termoplásticos y termofijos.

1.2.3.4.2 METODOS DE APLICACIÓN DE ADHESIVOS

Aplicación con brocha:

- Rodillos manuales.
- Serigrafía.
- Por flujo.
- Por aspersion o atomización.
- Con aplicadores automáticos.
- Recubrimiento mediante rodillo.

1.2.3.5 ENSAMBLE MECÁNICO

En las operaciones del ensamble mecánico se aseguran dos o más piezas de tal manera que posteriormente puedan desarmarse fácilmente.

1.2.3.5.1 TORNILLOS, TUERCAS Y PERNOS

Los **tornillos** y los **pernos** son sujetadores con roscas externas. Hay una diferencia técnica entre un tornillo y un perno, que con frecuencia se confunde en el su uso popular.

Un **tornillo** es un sujetador con rosca externa que, por lo general, se ensambla en un orificio roscado ciego.

Un **perno** es un sujetador con rosca externa que se inserta a través de orificios en las partes y se asegura con una tuerca en el lado opuesto.

Existen distintos tipos de cabezas para los tornillos y los pernos, entre estos destacan los de la siguiente figura:

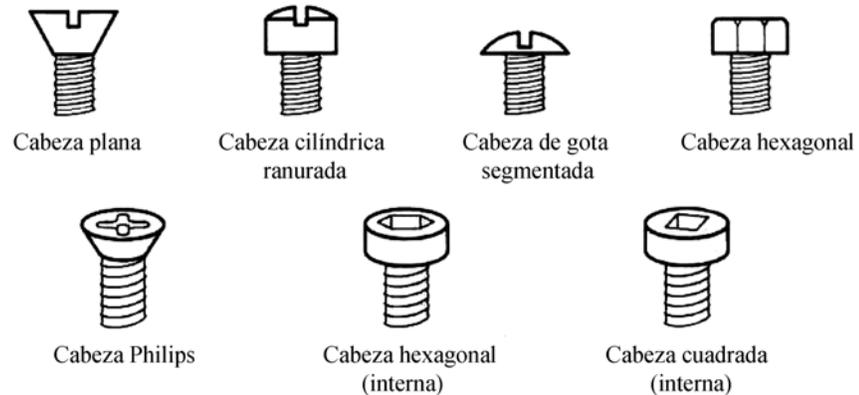


Fig. 10. Diferentes tipos de cabeza para tornillos y pernos (Degarmo, 1997).

Otros sujetadores roscados:

- **Insertos con tornillo de rosca:** son pernos sin cabeza con rosca interna o rollos de alambre hechos para insertarse en un orificio sin rosca y para aceptar un sujetador con rosca externa.
- **Sujetadores roscados prisioneros:** son sujetadores con rosca que han preensamblado permanentemente a una de las partes que se van a unir.

1.2.3.5.2 REMACHES Y OJILLOS

Los remaches son sujetadores que se utilizan ampliamente para obtener una unión permanente en forma mecánica. Estos remaches son una punta con cabeza y sin rosca que se usa para unir dos(o más) partes, la punta pasa a través de orificios en las partes y después forma una segunda cabeza en la punta del lado opuesto.

Los ojetes u ojillos son sujetadores tubulares de paredes delgadas con un reborde en un extremo. Se usan para producir una unión empalmada permanente entre dos (o más) partes planas.

1.2.3.5.3 AJUSTES POR INTERFERENCIA

Los ajustes de agarre automático son la unión de dos partes, en las cuales los elementos que coinciden poseen una interferencia temporal mientras se oprimen juntos, pero una vez que se ensamblan se entrelazan para conservar el ensamble.

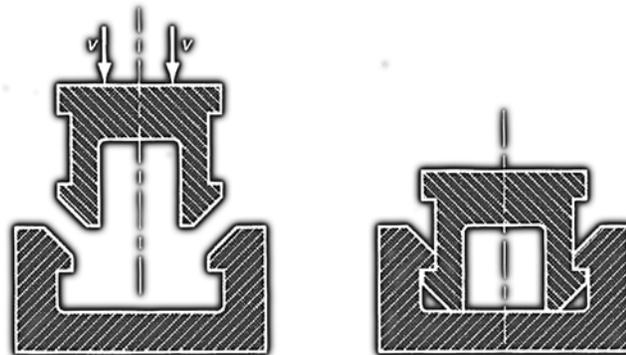


Fig. 11. Ejemplo de un ajuste de agarre automático (Degarmo, 1997).

Existen otros ajustes por interferencia como:

- **Puntillado:** es una operación de sujeción en la cual se usa una máquina que produce las puntillas en forma de U de alambre de acero, y de inmediato las inserta a través de las dos partes que se van a unir.
- **Engrapado:** son grapas en forma de U que se clavan a través de dos partes que se van a unir.

- **Cosido:** es un método de unión común para partes suaves y flexibles, tales como telas y piel, el método implica el uso de un cordón o hilo largo entrelazado con las partes para producir una costura continua entre ellas.

Un procedimiento común de acoplar una maza sobre una flecha es mediante un ajuste a presión o por encogimiento, que también se conoce por ajuste forzado por interferencia. Un ajuste forzado se obtiene maquinando la perforación en la maza a un diámetro ligeramente inferior al diámetro de la flecha como se observa en la figura 12. Las dos piezas se acoplan a presión mediante una prensa, preferiblemente con lubricante aplicado en la unión.

La deflexión elástica tanto de la flecha como de la maza actúa para crear entre las piezas grandes y de fricción. La fuerza de fricción transmite el par de torsión de la flecha a la maza, resistiendo también el movimiento axial.

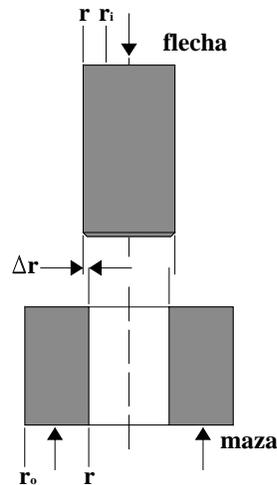


Fig. 12. Ajuste por interferencia de una maza y una flecha (Norton, 1999).

Solo piezas relativamente pequeñas se pueden colocar a presión, sin exceder la capacidad de fuerza de una prensa de taller típica. En piezas más grandes, se puede hacer un ajuste por expansión calentando la maza, a fin de expandir su

diámetro interior, y/o se puede hacer un ajuste por contracción, enfriando la flecha para reducir su diámetro. Las piezas caliente y fría se pueden introducir una dentro de la otra con muy poca fuerza axial, y cuando se equilibran a la temperatura ambiente, su cambio dimensional genera la interferencia deseada por contacto por fricción. Otro método es expandir hidráulicamente la maza con aceite a presión, llevado a través de pasajes en la flecha o en la maza.

La interferencia necesaria para crear una unión apretada varía según el diámetro de la flecha. Lo típico es alrededor de 0.001 a 0.002 unidades de interferencia diametral por la unidad de diámetro de la flecha (la regla de los milésimos), y la cantidad más pequeña se utiliza en diámetros de flechas mayores.

Un acoplamiento forzado por interferencia genera el mismo estado de esfuerzos en la flecha que una presión externa uniforme sobre su superficie. La presión p creada por un ajuste forzado por interferencia se puede determinar a partir de la deformación de los materiales causada por dicha interferencia.

$$p = \frac{0.5\delta}{\frac{r}{E_o} \left(\frac{r_o^2 + r^2}{r_o^2 - r^2} + \nu_o \right) + \frac{r}{E_i} \left(\frac{r^2 + r_i^2}{r^2 - r_i^2} - \nu_i \right)} \quad (6)$$

El par de torsión que puede ser transmitido por el acoplamiento forzado por interferencia se puede definir en la función p en la interfaz, superficie de contacto, que crea una fuerza de fricción en el radio de la flecha.

$$T = 2\pi r^2 \mu p l \quad (7)$$

Se pueden combinar las ecuaciones (6) y (7) a fin de obtener una expresión probable a partir de una deformación coeficiente de fricción y geometría particulares.

$$T = \frac{\pi / r \mu \delta}{\frac{1}{E_o} \left(\frac{r_o^2 + r^2}{r_o^2 - r^2} + \nu_o \right) + \frac{1}{E_i} \left(\frac{r^2 + r_i^2}{r^2 - r_i^2} - \nu_i \right)} \quad (8)$$

La presión p se aplica en las ecuaciones de esfuerzos en cilindros de pared gruesa para encontrar los esfuerzos radiales y tangenciales de cada pieza.

Para la flecha:

$$\sigma_{flecha} = -p \frac{r^2 + r_i^2}{r^2 - r_i^2} \quad (9)$$

$$\sigma_{rflecha} = -p \quad (10)$$

Donde r_i es el radio interior de la flecha hueca. Si la flecha es sólida r_i será igual a cero.

En el caso de la maza:

$$\sigma_{maza} = -p \frac{r_0^2 + r^2}{r_0^2 - r^2} \quad (11)$$

$$\sigma_{rmaza} = -p \quad (12)$$

Para que se conserve el ajuste, estos esfuerzos deben mantenerse por debajo de los límites elásticos de los materiales. Si los materiales ceden, la maza se aflojará de la flecha.

1.2.3.5.3.1 JUEGOS Y APRIETES

En un ensamble donde el agujero es mayor al árbol, se dice que existe juego entre ambas piezas. “El juego es la diferencia entre la dimensión del agujero y la dimensión del árbol”⁷

$$\text{Juego} = \text{dimensión del agujero} - \text{dimensión del árbol} \quad (13)$$

Debido a que las dimensiones del agujero y del árbol varían entre sus tolerancias, el juego también lo hará, permitiendo que exista un juego máximo y un juego mínimo.

$$\text{Juego máx.} = \text{dimensión máx. del agujero} - \text{dimensión mín. del árbol} \quad (14)$$

$$\text{Juego mín.} = \text{dimensión mín. del agujero} - \text{dimensión máx. del árbol} \quad (15)$$

En un ensamble donde la dimensión del árbol es mayor a la del agujero, se dice que existe apriete, el cuál es la diferencia entre la dimensión del árbol y la dimensión del agujero.

$$\text{Apriete} = \text{dimensión del árbol} - \text{dimensión del agujero} \quad (16)$$

Al igual que en el caso del juego, el apriete tendrá un valor máximo y un valor mínimo.

⁷ VILLANUEVA P. Sergio A., RAMOS W. Jorge, “Manual de...”, Ed. AGT editor, México, 2001, p.5

Apriete máx. = dimensión máx. del árbol - dimensión mín. del agujero (17)

Apriete mín. = dimensión mín. del árbol - dimensión máx. del agujero (18)

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se requiere realizar tanto el diseño como la manufactura de tres mecanismos (RRRR, RRRP y RRPR) para fines didácticos. Las longitudes de los eslabones móviles podrán aumentar o disminuir en un 20% respecto a su longitud media y los eslabones fijos podrán rotar 10° en sentido horario o antihorario siendo posible ubicar en todo momento las juntas que los unen. Durante su funcionamiento no deberán presentarse saltos de posiciones o paros repentinos.

Cada mecanismo deberá trabajar dentro de un área rectangular que cumpla una relación de longitud en sus lados de 4:3 para hacer posible el registro de su movimiento por medio de una videocámara. El eslabón motor de cada mecanismo será impulsado mediante un motor eléctrico.

El diseño del proyecto se hará en base a los siguientes criterios:

- Los mecanismos deberán ser extremadamente planos para evitar errores de perspectiva.
- Las juntas deberán ser plenamente localizables en cualquier posición del mecanismo.
- Invariablemente al cambio en las dimensiones de los eslabones, éstos jamás deberán salir del área de trabajo.
- Facilidad de cambio de las dimensiones de los eslabones.
- Bajo peso de los mecanismos para fácil manejo.

Estos criterios serán tomados en cuenta porque una vez terminado este proyecto, será utilizado a futuro en la realización del proyecto de docencia “Diseño y construcción de equipo, prácticas y software de análisis de imagen para el Laboratorio de Mecanismos”, para llevar a cabo el análisis de posiciones, aceleraciones y velocidades de los mecanismos armados, mediante el uso de una cámara de video y un software. Debido al uso de la videograbación, es necesario que el diseño del proyecto se realice tomando en consideración las características del formato de video NTSC, para de esta manera lograr una compatibilidad entre éstos y evitar errores de perspectiva de la cámara.

2.1 METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN

2.1.1 DISEÑO DE COMPONENTES

2.1.1.1 ELECCION DE LA LONGITUD MÁXIMA, MEDIA Y MÍNIMA DE LOS ESLABONES, ASÍ COMO LA CONFIGURACIÓN DE LOS MECANISMOS

Será empleado AutoCAD para determinar gráficamente tanto la longitud máxima de los eslabones en movimiento de cada mecanismo así como su configuración correspondiente, de tal forma que éstos no salgan de su área de trabajo durante su funcionamiento. Debido a que no es posible determinar en base solo a la longitud de los eslabones de un mecanismo si el desplazamiento de cada uno de éstos es tal, que éstos salgan del área de trabajo durante su funcionamiento, se realizará una simulación del movimiento de cada uno de los mecanismos utilizando el software de *Working Model 2D*. La longitud mínima y media de los eslabones en

movimiento serán determinadas por medio de la solución de ecuaciones apropiadas, utilizando Excel como apoyo.

Con el fin de asegurar que cada uno de los tres mecanismos presente siempre un movimiento tipo Grashof durante su funcionamiento, se desarrollará un programa de computo para el mecanismo RRRR y otro más para el RRRP que determinen las longitudes medias y mínimas de sus eslabones en movimiento, así como todas las posibles configuraciones que puedan llegar a tener los mecanismos correspondientes y que posteriormente indiquen si el mecanismo cumple con el principio de Grashof o no durante su funcionamiento bajo todas las configuraciones ya determinadas. Este programa de cómputo será desarrollado utilizando *Matlab*.

2.1.1.2 DISEÑO DE LOS COMPONENTES

DE CADA MECANISMO

Se buscará que los eslabones posean un diseño estético que no interrumpa con su funcionalidad. El espesor de éstos deberá ser lo menor posible para garantizar la planicidad de los mecanismos, pero que también permita que dentro de los eslabones puedan ensamblarse otros componentes como lo son las juntas de revoluta ubicadas una en cada uno de sus extremos y el mecanismo de extensión-reducción de eslabones. La forma de estos componentes será como la de una placa delgada con los extremos redondeados para darle cierta estética, de esta manera los eslabones serán planos, con un espesor pequeño y podrán tener la longitud máxima necesaria para que se cumpla con la condición de Grashof.

Los eslabones podrán variar su longitud por medio de un mecanismo de extensión-reducción, el cual permitirá que la junta de un extremo del eslabón se desplace a lo largo del componente, haciendo que su longitud (distancia que existe entre sus juntas) aumente o disminuya al alejarse o acercarse a la junta del extremo opuesto.

Las juntas de revoluta se desplazarán a lo largo de la pieza por medio de un carro unido a ellas, el cual se moverá linealmente a lo largo de una guía con perfil cola de milano ubicada en el interior del cuerpo del eslabón. Se utilizará este perfil porque no permitirá que el carro salga de la guía durante su desplazamiento y también debido a que el espesor del eslabón será tan pequeño que no podrá albergar una guía con perfil rectangular en su interior.

La unión entre los eslabones en sus extremos será mediante juntas de revoluta o prismáticas para los casos de los mecanismos de Manivela Corredera y de Manivela Corredera Inversión Tipo I. Estas juntas permitirán que exista movimiento de rotación entre los eslabones que unen sin friccionar con éstos para evitar paros durante el funcionamiento de los mecanismos. Las fuerzas de fricción se tratarán de evitar utilizando rodamientos de bolas en la unión de la junta con el eslabón.

Las fuerzas de fricción también deberán evitarse en lo posible durante el desplazamiento lineal de la camisa de la corredera a lo largo de la guía de corredera de los mecanismos Manivela Corredera y Manivela Corredera Inversión Tipo I, para esto se buscará que la camisa de la corredera posea un diseño que minimice su área de contacto con la guía de corredera.

Empleando *Inventor* se desarrollará el diseño y simulación de todos los componentes que conformarán a cada mecanismo, verificando su correcto ensamble.

Los materiales que constituirán a cada componente serán elegidos de tal forma que les permitan cumplir con su función correspondiente, y a su vez, le permitan tener a cada uno de los mecanismos cierta ligereza, de tal forma que puedan ser transportados de un sitio a otro sin mucho esfuerzo.

2.1.2 MANUFACTURA Y ENSAMBLE DE COMPONENTES

Los eslabones de cada mecanismo se manufacturarán en aluminio 6063-T5 porque es un material liviano y con dureza alta en comparación a la del aluminio puro y sin tratamiento térmico, ya que se requiere bajo peso en los mecanismos, pero también es necesario evitar que las piezas deformen con el uso.

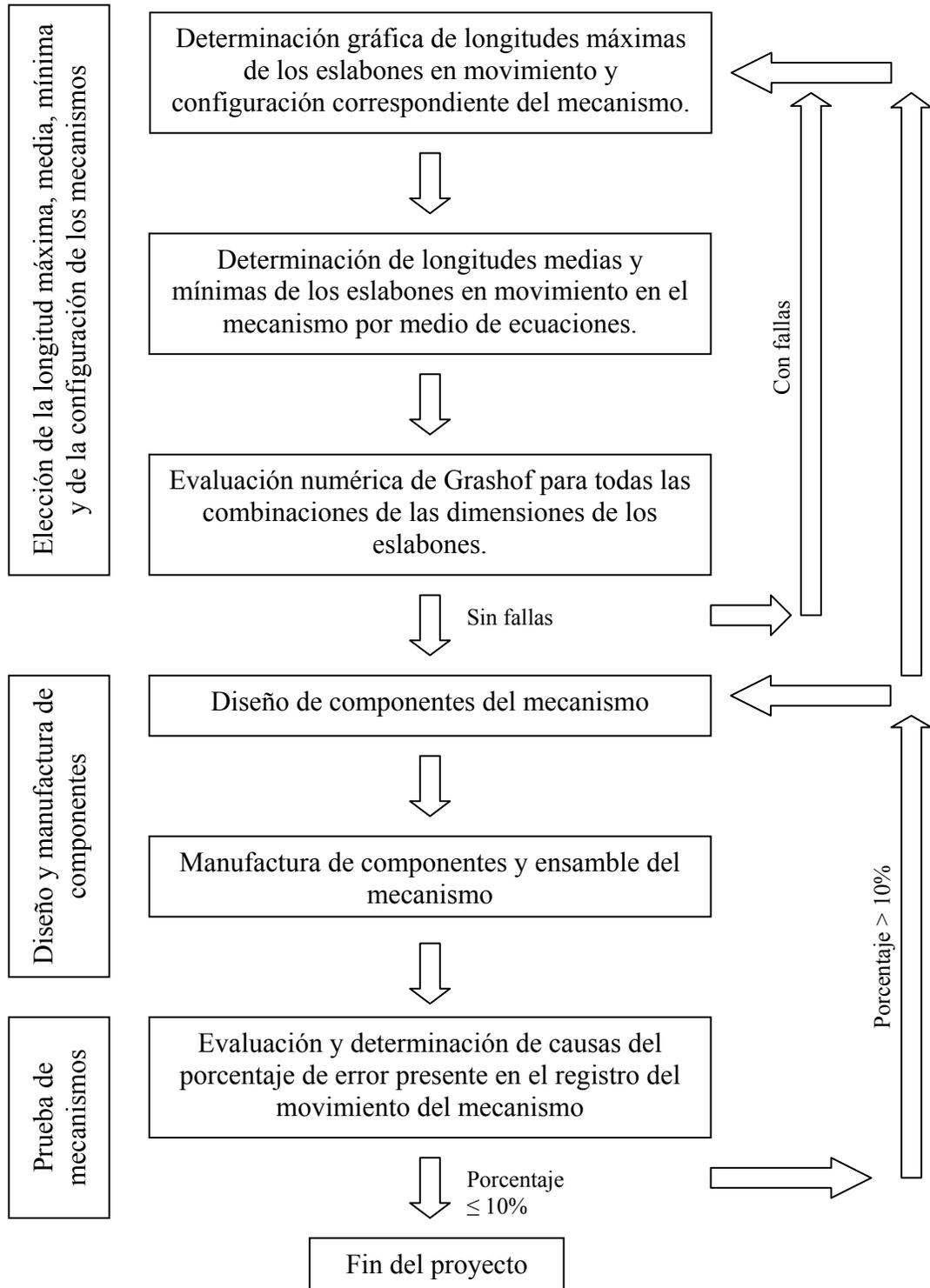
Otra razón importante por la cual se trabajará con aluminio es que para obtener las tolerancias adecuadas para ensambles por interferencia entre los componentes de cada mecanismo, así como la forma de los eslabones., la manufactura se llevará a cabo en las maquinas CNC de la institución, las cuales son especiales para uso didáctico, por lo que no tienen la potencia necesaria para trabajar con aceros.

2.1.3 PRUEBA DE MECANISMOS

Serán realizadas las prácticas 5, 6 y 7 incluidas en el manual de Laboratorio de Mecanismos, empleando únicamente la suite KIMA® para la elaboración de los cálculos teóricos.

Se evaluará el porcentaje de error presente en el registro del movimiento de cada mecanismo cuando es videograbado y se determinarán sus posibles causas. En el caso de que el porcentaje de error atribuido al diseño y/o manufactura del mecanismo sea mayor al 10% se harán las modificaciones necesarias para hacerlo menor a dicho porcentaje.

2.1.4 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA



2.1.5 EQUIPO Y SOFTWARE

Las instalaciones dentro de la UAM Azcapotzalco y el equipo que será utilizado para el diseño y la fabricación de los mecanismos didácticos es el siguiente:

- Biblioteca
- Taller mecánico: Fresadora, torno, sierra cinta, tornillo y herramienta de mano.
- C.E.M.A.C: Fresadora de Control Numérico Computarizado, Torno de Control Numérico Computarizado.
- Computadora personal: procesador 1.73 GHz, memoria RAM de 1GB, disco duro de 70 GB, sistema operativo Windows XP Home Edition.
 - Software: Microsoft Office XP professional
 - Autodesk AutoCAD 2004
 - Autodesk Inventor Professional 8
 - Matlab

CARACTERÍSTICAS DE LA COMPUTADORA PERSONAL

- Procesador 1.73 GHz
- memoria RAM de 1GB
- disco duro de 70 GB,
- sistema operativo Windows XP Home Edition.

SOFTWARE DE DISEÑO Y PROGRAMACIÓN

Matlab® 7.0: Es un lenguaje de alto rendimiento para programación técnica. Integra el cómputo, la visualización, y la programación en un ambiente fácil de utilizar donde los problemas y las soluciones se expresan en la notación matemática familiar. Las aplicaciones típicas incluyen matemáticas y el modelaje de la adquisición de datos del desarrollo de algoritmo del cómputo, la simulación, y el análisis de datos, la exploración, y la visualización científica y el desarrollo del uso de los gráficos de ingeniería, incluyendo el edificio gráfico de MATLAB es un sistema interactivo. Esto permite que soluciones muchos problemas que se computan técnicamente, especialmente éstos con formulaciones de la matriz y del vector, se programen en una fracción del tiempo que se tomaría para escribir un programa en una lengua no interactiva escalar tal como C o FORTRAN

AutoCAD 2004: AutoCAD es un programa de diseño asistido por ordenador (DAO; en inglés CAD) para dibujo en 2D y 3D. Actualmente es desarrollado por la empresa Autodesk.

Al igual que otros programas de DAO, AutoCAD gestiona una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc) con la que se puede operar a través de una pantalla gráfica en la que se muestran éstas.

Las aplicaciones del programa son múltiples, desde proyectos y presentaciones de ingeniería, hasta diseño de planos o maquetas de arquitectura.

INVENTOR PROFESSIONAL 8: Inventor de Autodesk es un programa de modelaje de sólidos producido por la empresa Autodesk. Fue diseñado para hacer posible construir, modelar y probar ensambles o modelos en computadoras personales.

Inventor se utiliza en diseño y en ingeniería para producir y para perfeccionar productos.

DESARROLLO

3.1 DISEÑO DE COMPONENTES

3.1.1 ELECCION DE LA LONGITUD MÁXIMA, MEDIA Y MÍNIMA DE LOS ESLABONES, ASÍ COMO LA CONFIGURACIÓN DE LOS MECANISMOS

Primeramente fue necesario definir el área de trabajo dentro de la cual los mecanismos deberán moverse durante su funcionamiento, la cual tiene las mismas dimensiones para el mecanismo RRRR, para el RRPR y el RRRP ya que esto evitará que al ser utilizados para análisis cinemático, el *zoom* de la cámara de video tenga que ajustarse al tamaño de cada mecanismo. El área de trabajo fue definida con una forma rectangular de 470 mm de base por 352 mm de altura, en relación 4:3 de acuerdo al formato NTSC Standard de 48 KHz de la videocámara a utilizar para el análisis cinemático.

3.1.1.1 MECANISMO RRRR

El mecanismo de RRRR elegido fue basado en la configuración cruzada del mecanismo de la figura 13, el cual fue encontrado en la bibliografía utilizada para este proyecto. A este mecanismo le fueron modificadas varias veces todas las longitudes de sus eslabones, hasta encontrar las máximas posibles.

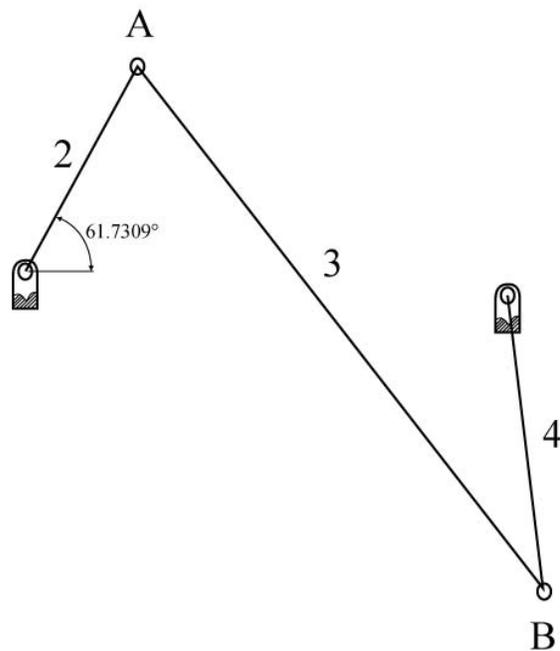


Fig. 13. Mecanismo de cuatro barras (Pérez, 2004).

Las longitudes máximas posibles de los eslabones del mecanismo fueron establecidas en base a diferentes propuestas, eligiendo solo una, con la cual el mecanismo cumpliera la condición de Grashof y su que vez su movimiento fuera siempre dentro del área de trabajo establecida.

Según el teorema de Grashof, si la desigualdad 4 se cumple, se dice que el mecanismo es un mecanismo de Grashof y por lo menos un eslabón será capaz de realizar una revolución completa con respecto al plano de fijación

$$S + L \leq P + Q \quad (4)$$

Siendo las longitudes máximas de los eslabones:

$$S = 60 \text{ mm.}, L = 170 \text{ mm.}, P = 140 \text{ mm.}, \text{ y } Q = 140 \text{ mm.}$$

se tiene:

$$60 + 170 \leq 140 + 140$$

$$230 \leq 280$$

Por lo tanto el mecanismo con las longitudes máximas de sus eslabones es un mecanismo de Grashof y es mostrado en la siguiente imagen:

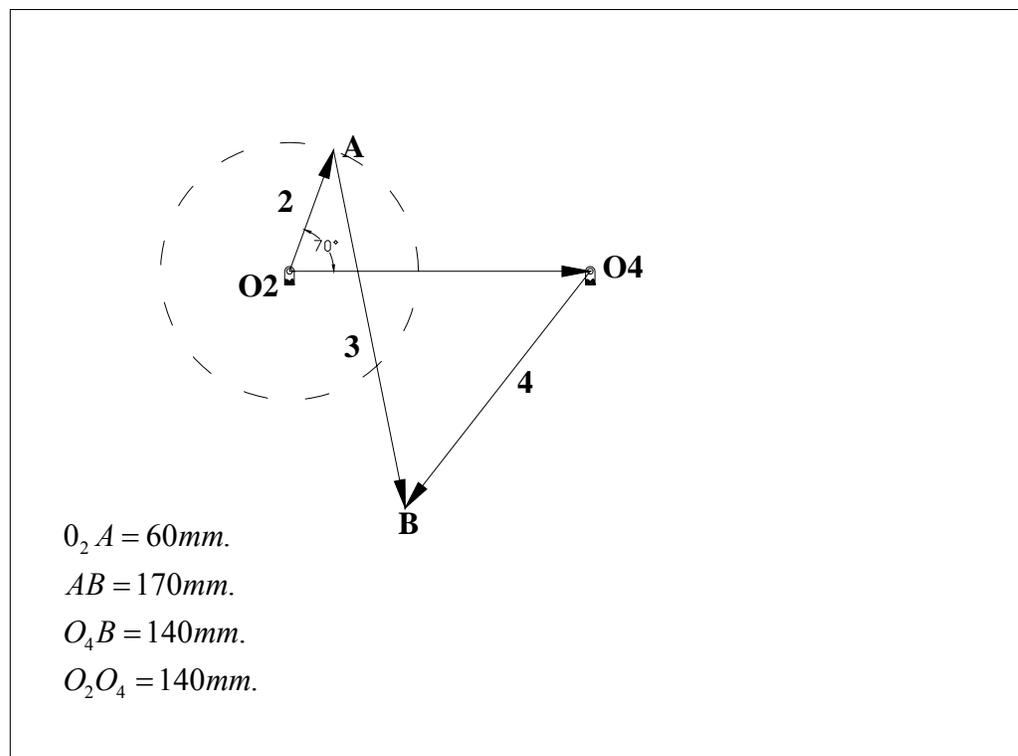


Fig. 14. Mecanismo RRRR elegido con dimensiones máximas situado dentro de su área de trabajo.

Este mecanismo es un mecanismo de tipo I, lo cual nos da una idea del movimiento de sus eslabones. “Si se fija uno u otro eslabón adyacente al más corto, se obtiene una manivela-balancín, en la cual el eslabón más corto girará completamente y el otro eslabón oscilará pivotado a la fijación”⁵.

⁵ NORTON Robert. L., op. cit., p. 52

Para saber si durante el funcionamiento del mecanismo con sus longitudes máximas ninguno de sus eslabones saldrá del área de trabajo, se realizaron tres simulaciones del mecanismo plano en *Working Model*®, cada una con diferente grado de inclinación del eslabón fijo (eslabón 1), dentro de los valores establecidos en el proyecto. Las siguientes imágenes muestran la trayectoria que tendrán los eslabones del mecanismo durante su funcionamiento para $\theta_1 = 0^\circ$, $\theta_1 = 10^\circ$ y $\theta_1 = -10^\circ$.

Para $\theta_1 = 0^\circ$:

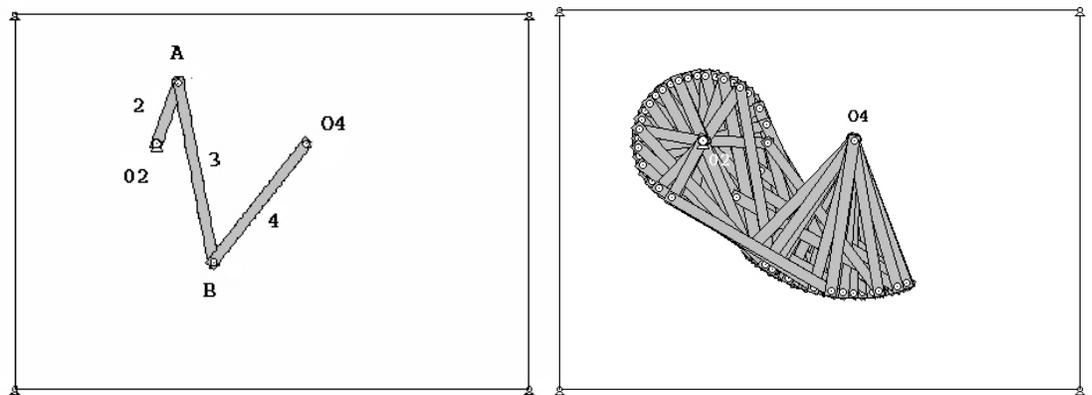


Fig. 15. Trayectoria del mecanismo RRRR elegido cuando $\theta_1 = 0^\circ$.

Para $\theta_1 = 10^\circ$:

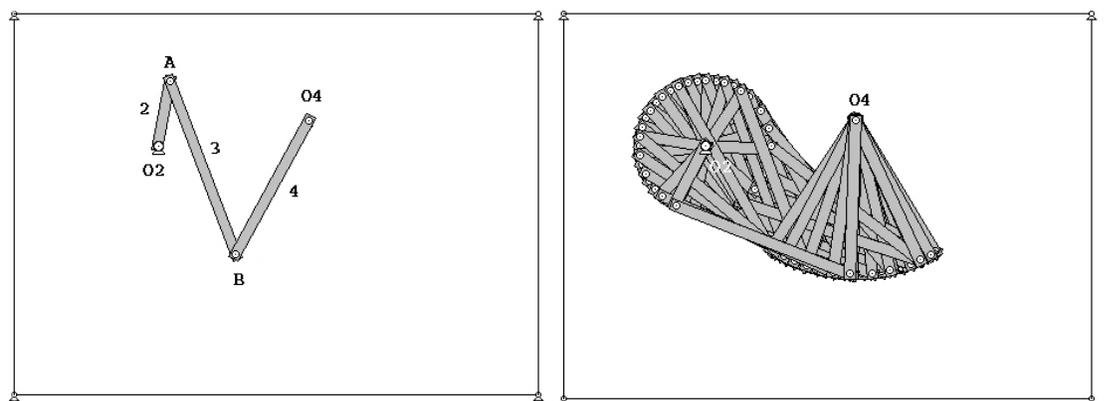


Fig. 16. Trayectoria del mecanismo RRRR elegido cuando $\theta_1 = 10^\circ$.

Para $\theta_1 = -10^\circ$:

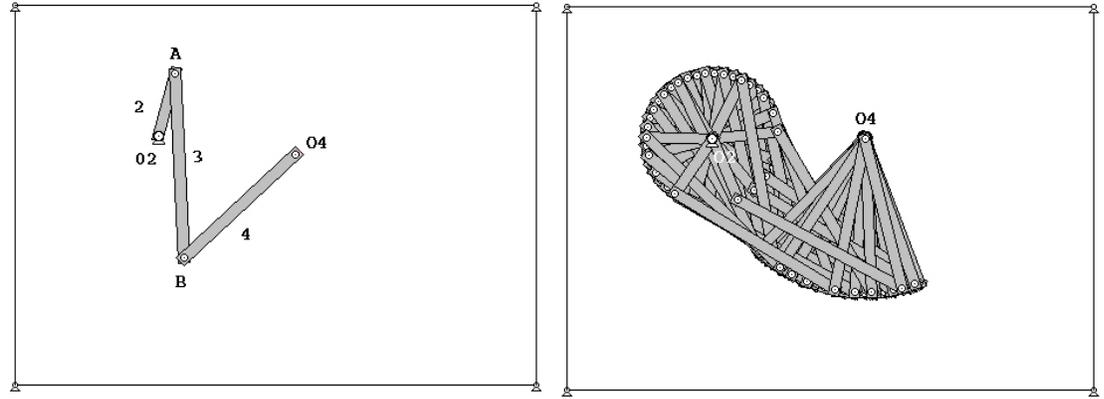


Fig. 17. Trayectoria del mecanismo RRRR elegido cuando $\theta_1 = -10^\circ$.

Tomando en cuenta que la longitud de cada eslabón móvil debe variar dentro de un intervalo del 20%, su longitud media y mínima fueron determinadas a partir de la longitud máxima, mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Longitud media} = \frac{\text{Longitud máxima}}{1.2} \quad (19)$$

$$\text{Longitud mínima} = \frac{0.8 \text{Longitud máxima}}{1.2} \quad (20)$$

Las ecuaciones 13 y 14 fueron introducidas en una hoja de cálculo, obteniéndose los siguientes valores:

Eslabón	Longitud máxima	Longitud media	Longitud mínima
1	eslabón fijo		
2	60	50.00	40.00
3	170	141.67	113.33
4	140	116.67	93.33

Tabla 3. Longitud máxima, media y mínima de mecanismo RRRR.

En las siguientes imágenes es mostrado el mecanismo RRRR con las dimensiones medias y mínimas de sus eslabones cuando $\theta_1 = 0^\circ$.

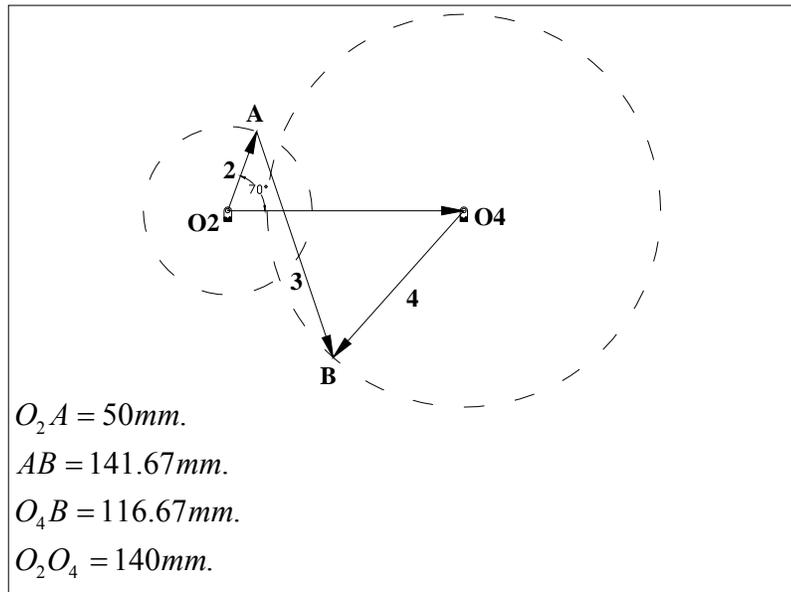


Fig. 18. Mecanismo RRRR elegido con dimensiones medias.

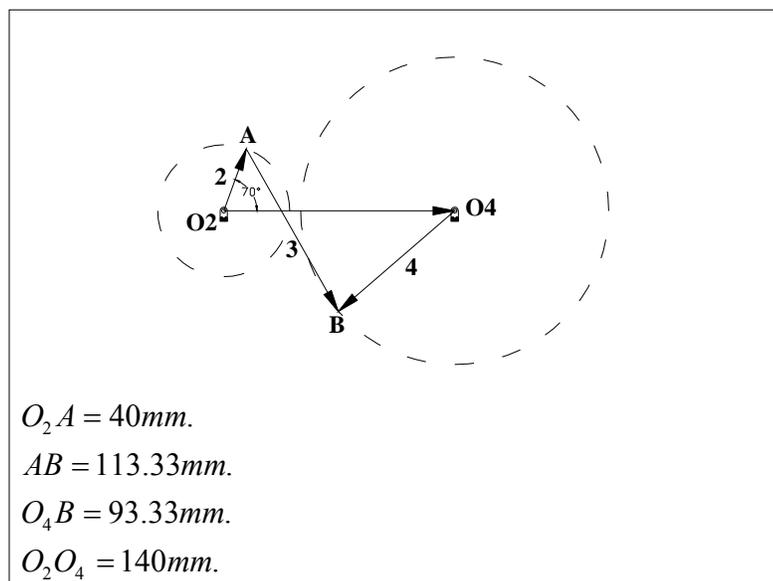


Fig. 19. Mecanismo RRRR elegido con dimensiones mínimas.

Para garantizar que el mecanismo presente un comportamiento tipo Grashof no sólo con sus dimensiones máximas, medias o mínimas sino también con todas las configuraciones que éste pueda llegar a tener al variar la longitud de sus eslabones, fue creado un programa de computo en *Matlab*®, el cuál determina todas las configuraciones posibles para el mecanismo y posteriormente indica si con esas dimensiones el mecanismo es Grashof. A continuación se muestra el programa y posteriormente sus resultados:

Programa:

```
%programa para determinar si el mecanismo de 4 barras es grashof en todas  
%sus posibles combinaciones
```

```
clc;
```

```
clear;
```

```
r1max= 140;
```

```
r1med= 140;
```

```
r1min= 140;
```

```
r2max = 60; %dato de entrada
```

```
r2med = r2max/1.2;
```

```
r2min = 0.8*r2max/1.2;
```

```
r3max = 170; %dato de entrada
```

```
r3med = r3max/1.2;
```

```
r3min = 0.8*r3max/1.2;
```

```
r4max = 140; %dato de entrada
```

```
r4med = r4max/1.2;
```

```
r4min = 0.8*r4max/1.2;
```

```
R1 = [ r1min r1med r1max ];
```

```
R2 = [ r2min r2med r2max ];
```

```
R3 = [ r3min r3med r3max ];
```

```
R4 = [ r4min r4med r4max ];
```

```
fprintf('LONGITUDES DE ESLABON FIJO, MANIVELA Y DE ACOPLADOR  
\n \n');
```

```
fprintf('eslabón fijo: longitud máxima = %.4f, longitud media = %.4f, longitud  
mínima = %.4f \n \n',r1max,r1med,r1min);
```

```
fprintf('manivela: longitud máxima = %.4f, longitud media = %.4f, longitud  
mínima = %.4f \n \n',r2max,r2med,r2min);
```

```
fprintf('acoplador: longitud máxima = %.4f, longitud media = %.4f, longitud  
mínima = %.4f \n \n',r3max,r3med,r3min);
```

```
fprintf('oscilador: longitud máxima = %.4f, longitud media = %.4f, longitud  
mínima = %.4f \n \n',r4max,r4med,r4min);
```

```
fprintf('CONFIGURACIONES POSIBLES DEL MECANISMO \n \n');
```

```
for g = 1:3,
```

```
    for h = 1:3,
```

```
        for j = 1:3,
```

```
            for k = 1:3;
```

```
                r4 = R4 (k);
```

```
                r3 = R3 (j);
```

```
                r2 = R2 (h);
```

```

r1 = R1 (g);

r = [ r1 r2 r3 r4 ];

[MIN MIN_I ] = min(r);
[MAX MAX_I ] = max(r);

s_l = MIN + MAX;
p_q = 0;

for i = 1:4,
    if i ~= MIN_I && i ~= MAX_I
        p_q = p_q + r(i);
    end
end

if s_l <= p_q
    fprintf('r1 = %.4f, r2 = %.4f, r3 = %.4f, r4 = %.4f \n',r1,r2,r3,r4);
    fprintf('Es Grashof\n \n');
    if s_l == p_q
        fprintf('r1 = %.4f, r2 = %.4f, r3 = %.4f, r4 = %.4f \n',r1,r2,r3,r4);
        fprintf('Es Grashof ESPECIAL\n \n');
    end
else
    fprintf('r1 = %.4f, r2 = %.4f, r3 = %.4f, r4 = %.4f \n',r1,r2,r3,r4);
    fprintf('NO es Grashof\n \n');
end
end
end

```

end
end

Resultados:

LONGITUDES DE ESLABON FIJO, MANIVELA Y DE ACOPLADOR

eslabón fijo: longitud máxima = 140.0000, longitud media = 140.0000, longitud mínima = 140.0000

manivela: longitud máxima = 60.0000, longitud media = 50.0000, longitud mínima = 40.0000

acoplador: longitud máxima = 170.0000, longitud media = 141.6667, longitud mínima = 113.3333

oscilador: longitud máxima = 140.0000, longitud media = 116.6667, longitud mínima = 93.3333

CONFIGURACIONES POSIBLES DEL MECANISMO

$r_1 = 140.0000$, $r_2 = 40.0000$, $r_3 = 113.3333$, $r_4 = 93.3333$

Es Grashof

$r_1 = 140.0000$, $r_2 = 40.0000$, $r_3 = 113.3333$, $r_4 = 116.6667$

Es Grashof

$r_1 = 140.0000$, $r_2 = 40.0000$, $r_3 = 113.3333$, $r_4 = 140.0000$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 141.6667, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 141.6667, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 141.6667, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 170.0000, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 170.0000, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 170.0000, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 113.3333, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 113.3333, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 113.3333, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 141.6667, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 141.6667, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 141.6667, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 170.0000, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 170.0000, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 170.0000, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 113.3333, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 113.3333, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 113.3333, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 141.6667, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 141.6667, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 141.6667, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 170.0000, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 170.0000, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 170.0000, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 113.3333, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 113.3333, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 113.3333, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 141.6667, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 141.6667, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 141.6667, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 170.0000, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 170.0000, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 170.0000, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 113.3333, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 113.3333, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 113.3333, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 141.6667, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 141.6667, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 141.6667, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 170.0000, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 170.0000, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 170.0000, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 113.3333, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 113.3333, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 113.3333, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 141.6667, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 141.6667, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 141.6667, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 170.0000, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 170.0000, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 170.0000, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 113.3333, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 113.3333, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 113.3333, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 141.6667, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 141.6667, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 141.6667, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 170.0000, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 170.0000, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 40.0000, r3 = 170.0000, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 113.3333, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 113.3333, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 113.3333, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 141.6667, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 141.6667, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 141.6667, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 170.0000, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 170.0000, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 50.0000, r3 = 170.0000, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 113.3333, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 113.3333, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 113.3333, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 141.6667, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 141.6667, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 141.6667, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 170.0000, r4 = 93.3333$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 170.0000, r4 = 116.6667$$

Es Grashof

$$r1 = 140.0000, r2 = 60.0000, r3 = 170.0000, r4 = 140.0000$$

Es Grashof

3.1.1.2 MECANISMO RRRP

El mecanismo RRRP elegido, presenta una excentricidad de 24.3mm y una configuración cruzada.

Las longitudes máximas de sus eslabones permiten que el movimiento del mecanismo durante su funcionamiento sea siempre dentro de su área de trabajo, así como también que el eslabón dos realice revoluciones completas.

Si la desigualdad 5 se cumple, entonces el eslabón 2 siempre rotará completamente sobre su origen.

$$r + e \leq L \quad (5)$$

Siendo las siguientes las dimensiones máximas del mecanismo:

$$r = 60 \text{ mm.}$$

$$e = 24.3 \text{ mm.}$$

$$L = 277.5 \text{ mm.}$$

Se tiene:

$$60 + 24.3 \leq 277.5$$

$$84.3 \leq 277.5$$

Por lo tanto el eslabón 2 del mecanismo RRRP con dimensiones máximas se comportará como una manivela durante su funcionamiento. La siguiente figura muestra el mecanismo RRRP diseñado con sus longitudes máximas.

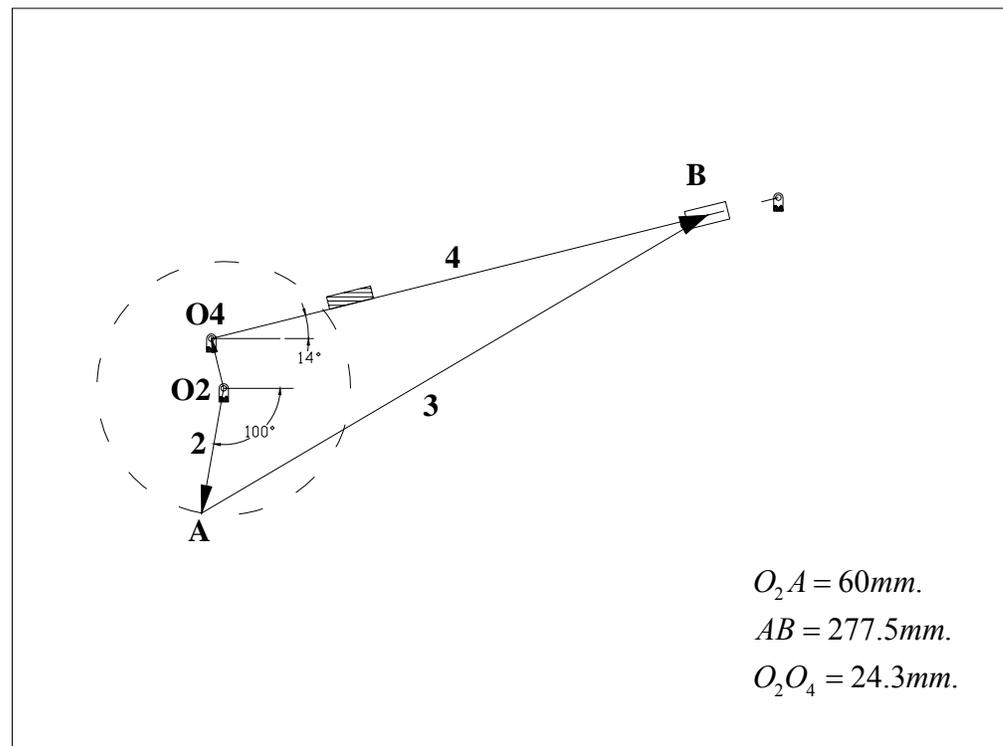


Fig. 20. Mecanismo RRRP elegido con dimensiones máximas situado dentro de su área de trabajo.

La figura 20 marca mediante un círculo de línea discontinua el movimiento rotacional que realizará la manivela durante el funcionamiento del mecanismo, se puede apreciar que este movimiento es realizado dentro del área de trabajo establecida.

Con el fin de determinar si el movimiento tanto del eslabón 3, como el de la camisa de la corredera serán siempre dentro de el área de trabajo definida, se realizaron dos simulaciones del mecanismo utilizando *Working Model*®, cada una con diferente grado de inclinación de la guía de corredera según los requerimientos del proyecto. Las tres figuras siguientes muestran las simulaciones realizadas, una con $\theta_4 = 14^\circ$ y otra con $\theta_4 = -6^\circ$.

Para $\theta_4 = 14^\circ$:

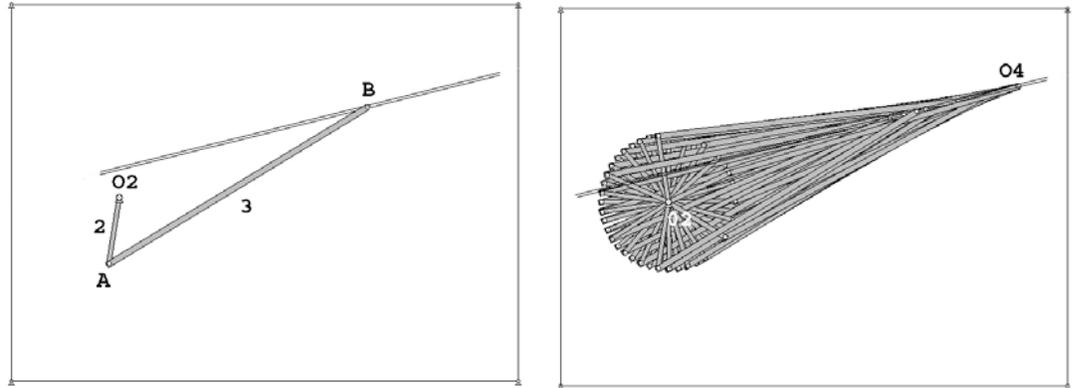


Fig. 21. Trayectoria del mecanismo RRRP elegido cuando $\theta_4 = 14^\circ$.

Para $\theta_4 = -6^\circ$:

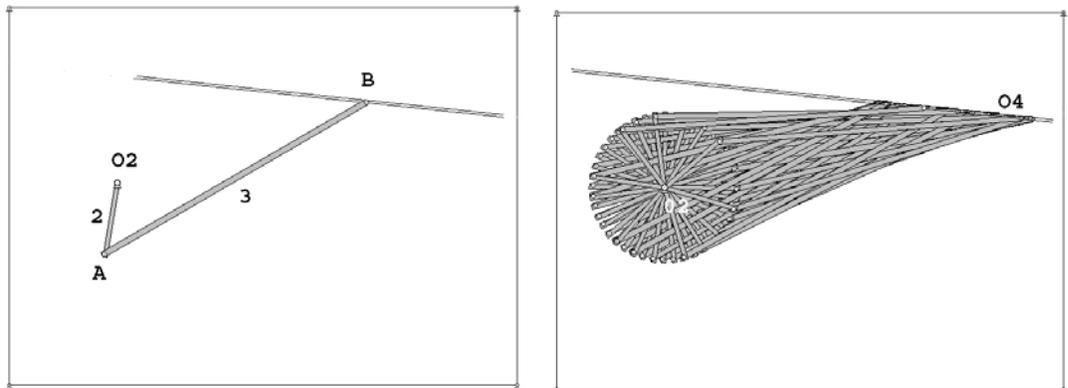


Fig. 22. Trayectoria del mecanismo RRRP elegido cuando $\theta_4 = -6^\circ$.

Una vez que la longitud máxima para cada eslabón fue establecida, se procedió a determinar su longitud media y su longitud mínima en base a la máxima de éstas mediante las ecuaciones 13 y 14. Los valores de estas longitudes fueron obtenidos con la ayuda de una hoja de cálculo y se muestran a continuación:

Eslabón	Longitud máxima	Longitud media	Longitud mínima
1	eslabón fijo		
2	60	50.00	40.00
3	277.5	231.25	185.00
4	guía de corredera		

Tabla 4. Longitud máxima, media y mínima del mecanismo RRRP.

Las siguientes figuras muestran al mecanismo RRRP con sus dimensiones mínimas y con sus dimensiones máximas cuando $\theta_4 = 14^\circ$.

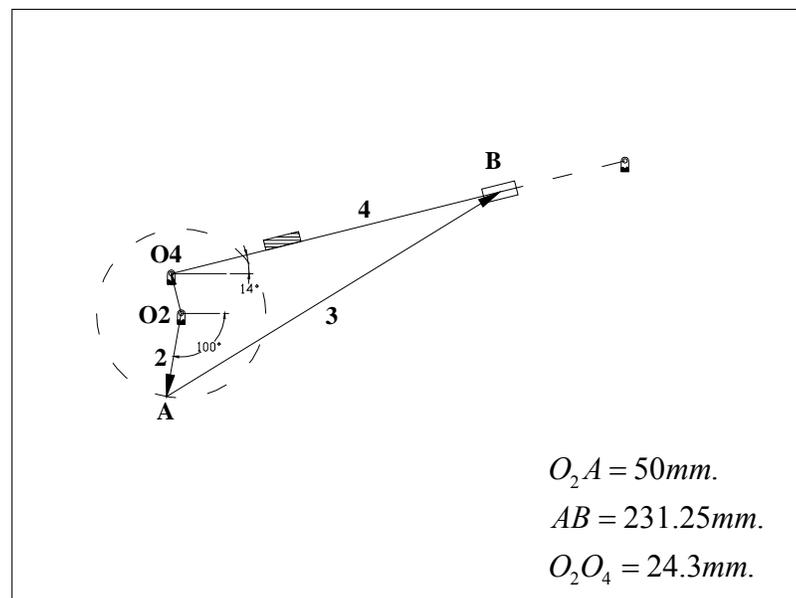


Fig. 23. Mecanismo RRRP elegido con dimensiones medias.

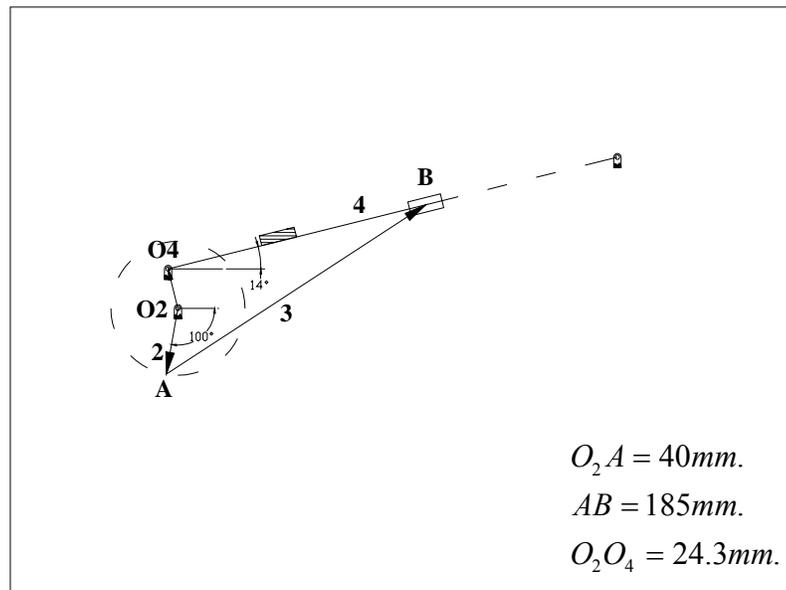


Fig. 24. Mecanismo RRRP elegido con dimensiones mínimas.

Se puede observar en las figuras 21 y 22 que cuando la longitud de los eslabones del mecanismo es máxima, el eslabón 2 gira completamente sobre su origen. Para determinar si lo anterior también cumple para las longitudes medias y mínimas de los eslabones, fue creado un programa de cómputo mediante *Matlab*®, el cual determina todas las configuraciones que el mecanismo puede llegar a tener al variar la longitud de sus eslabones fijos y si bajo cada una de éstas el eslabón 2 se comportará como manivela o como balancín.

Programa:

```

%programa para determinar si mecanismos manivela corredera
% son manivela-balancín

```

```
clc;
```

```
clear;
```

```
% datos de entrada
r1 = 25;

fprintf('LONGITUDES DE ESLABON FIJO, MANIVELA Y DE ACOPLADOR
\n \n');

fprintf('eslabón fijo: longitud = %.4f\n \n',r1);

r2max = 60; %dato de entrada
r2med = r2max/1.2;
r2min = 0.8*r2max/1.2;

fprintf('manivela: longitud máxima = %.4f, longitud media = %.4f, longitud
mínima = %.4f\n \n',r2max,r2med,r2min);

r3max = 277.5; %dato de entrada
r3med = r3max/1.2;
r3min = 0.8*r3max/1.2;

fprintf('acoplador: longitud máxima = %.4f, longitud media = %.4f, longitud
mínima = %.4f\n \n',r3max,r3med,r3min);

R2 = [ r2min r2med r2max ];
R3 = [ r3min r3med r3max ];
e = 25; %excentricidad, dato de entrada

fprintf('CONFIGURACIONES POSIBLES DEL MECANISMO \n \n');

for i = 1:3,
```

```

for j = 1:3,
    r3 = R3 (j);
    r2 = R2 (i);

    if r3 >= r2 + e
        fprintf('r1 = %.4f, r2 = %.4f, r3 = %.4f\n',r1,r2,r3);
        fprintf('Es manivela\n \n');
    else
        fprintf('r1 = %.4f, r2 = %.4f, r3 = %.4f\n',r1,r2,r3);
        fprintf('Es balancín\n \n');
    end
end
end
end

```

Cálculos:

LONGITUDES DE ESLABON FIJO, MANIVELA Y DE ACOPLADOR

eslabón fijo: longitud = 25.0000

manivela: longitud máxima = 60.0000, longitud media = 50.0000, longitud mínima = 40.0000

acoplador: longitud máxima = 277.5000, longitud media = 231.2500, longitud mínima = 185.0000

CONFIGURACIONES POSIBLES DEL MECANISMO

$r_1 = 25.0000$, $r_2 = 40.0000$, $r_3 = 185.0000$

Es manivela

$$r1 = 25.0000, r2 = 40.0000, r3 = 231.2500$$

Es manivela

$$r1 = 25.0000, r2 = 40.0000, r3 = 277.5000$$

Es manivela

$$r1 = 25.0000, r2 = 50.0000, r3 = 185.0000$$

Es manivela

$$r1 = 25.0000, r2 = 50.0000, r3 = 231.2500$$

Es manivela

$$r1 = 25.0000, r2 = 50.0000, r3 = 277.5000$$

Es manivela

$$r1 = 25.0000, r2 = 60.0000, r3 = 185.0000$$

Es manivela

$$r1 = 25.0000, r2 = 60.0000, r3 = 231.2500$$

Es manivela

$$r1 = 25.0000, r2 = 60.0000, r3 = 277.5000$$

Es manivela

3.1.1.3 MECANISMO RRPR

La elección de la configuración del mecanismo RRPR fue hecha basada en un mecanismo situado en la bibliografía utilizada para este proyecto, el cual es mostrado en la siguiente figura. A éste se le realizaron varios cambios, siempre buscando ocupar la mayor parte del área de trabajo definida durante su funcionamiento.

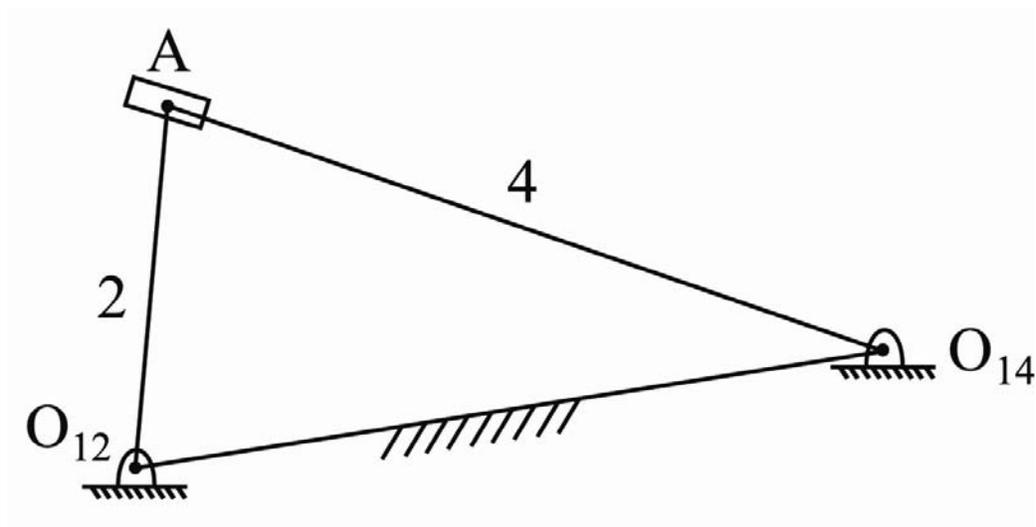


Fig. 25. Inversión tipo I de un mecanismo manivela corredera (Pérez, 2004).

En los mecanismos RRPR el eslabón 2 gira completamente sin importar su longitud ni la de los demás de los eslabones como en los casos de los dos mecanismos anteriores, esto es debido a que el eslabón 4 no tiene una longitud fija, lo que permite a la manivela moverse libremente.

El mecanismo elegido con sus longitudes máximas se muestra en la siguiente figura.

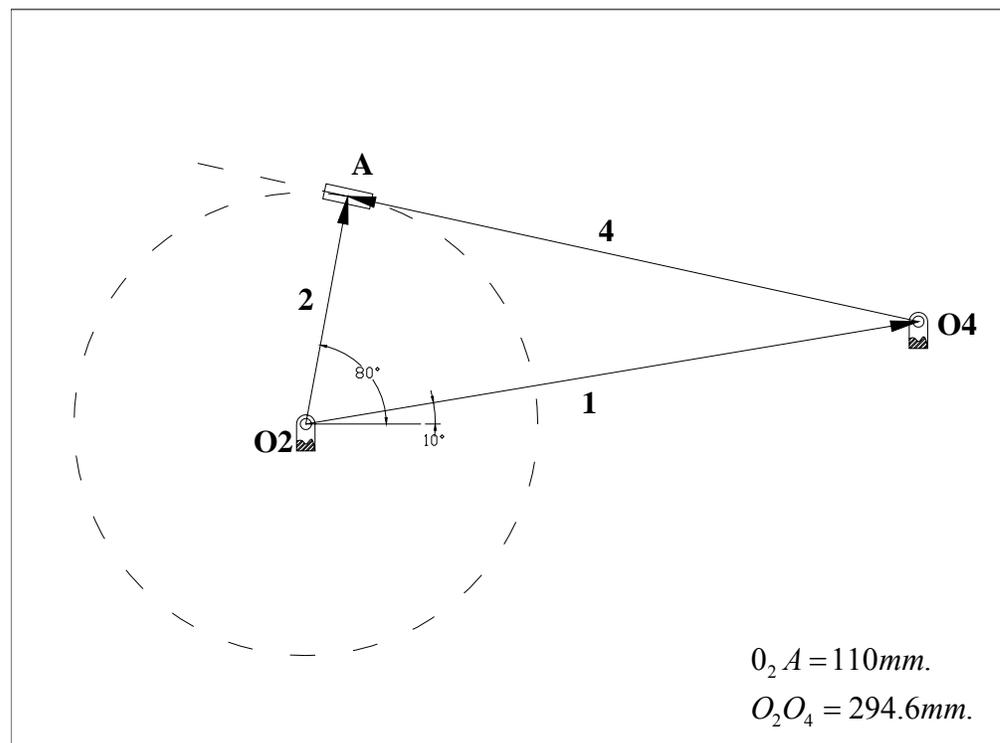


Fig. 26. Mecanismo RRPR elegido con dimensiones máximas situado dentro de su área de trabajo.

En la figura 26 es utilizado un círculo de línea discontinua para indicar el movimiento rotacional de la manivela con respecto a O_2 , con lo que se puede notar que ningún eslabón saldrá del área de trabajo definida durante el funcionamiento del mecanismo. Para comprobar lo anterior fue realizada una simulación del movimiento del mecanismo, utilizando las longitudes máximas de sus eslabones móviles. La figura 27 muestra los resultados de la simulación.

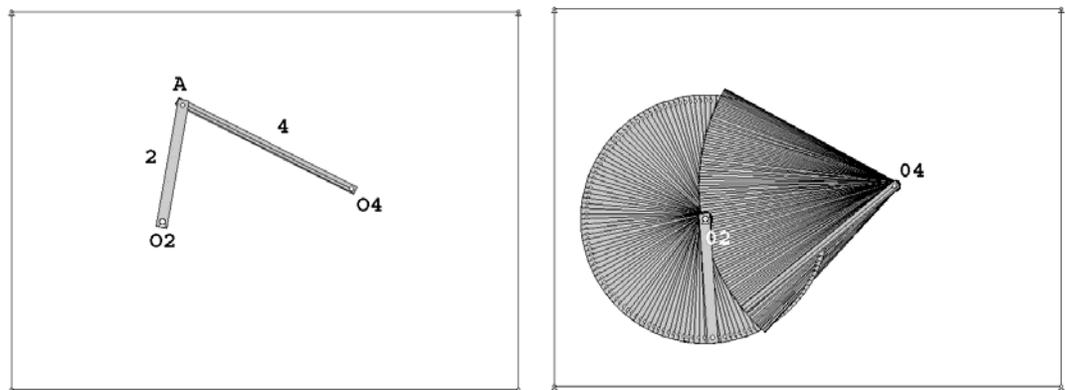


Fig. 27. Trayectoria del mecanismo RRPR elegido con dimensiones máximas.

En base a la longitud máxima de los eslabones móviles, fueron calculadas tanto las longitudes medias como las mínimas de éstos mismos, mediante las ecuaciones 13 y 14. Las longitudes obtenidas se muestran en la siguiente tabla.

Eslabón	Longitud máxima	Longitud media	Longitud mínima
1	eslabón fijo		
2	110	91.67	73.33
4	guía de corredera		

Tabla 5. Longitud máxima, media y mínima de mecanismo RRPR.

En las siguientes figuras se puede observar al mecanismo RRPR elegido con la longitud media y mínima de sus eslabones.

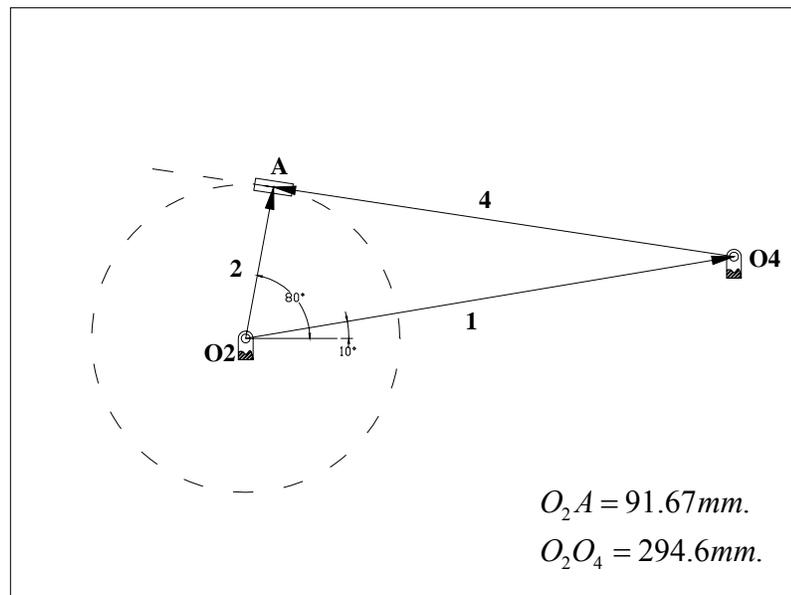


Fig. 28. Mecanismo RRPR elegido con dimensiones medias.

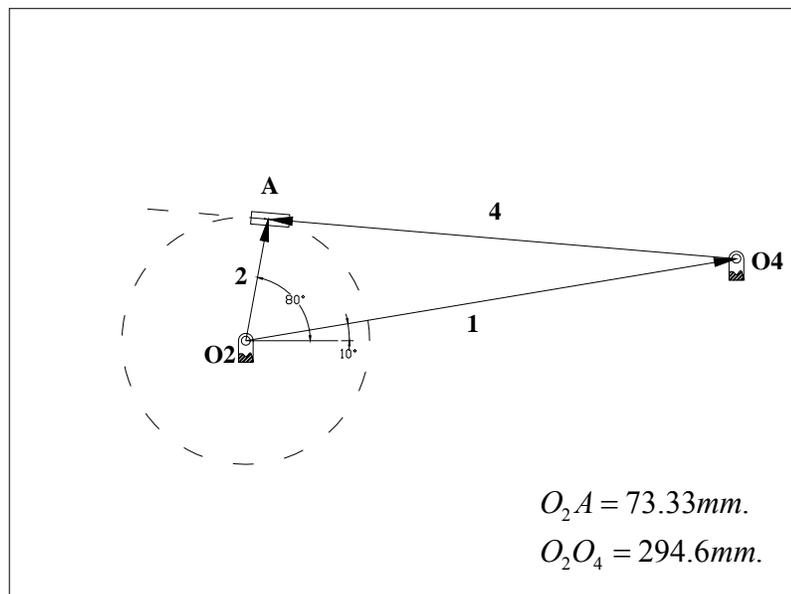


Fig. 29. Mecanismo RRPR elegido con dimensiones mínimas.

3.1.2 DISEÑO DE LOS COMPONENTES

DE CADA MECANISMO

Teniendo ya determinada la configuración de cada uno de los tres mecanismos planos, se procedió a realizar su diseño. Los componentes de cada mecanismo fueron diseñados casi en su totalidad para este proyecto, solo las correderas y algunos accesorios fueron adquiridos en el mercado, debido a su disponibilidad y al alto costo de su manufactura.

Todos los componentes fueron diseñados tomando en cuenta los siguientes factores de diseño.

- Los mecanismos deberán ser extremadamente planos para evitar errores de perspectiva.
- Las juntas deberán ser plenamente localizables en cualquier posición del mecanismo.
- Invariablemente al cambio en las dimensiones de los eslabones, éstos jamás deberán salir del área de trabajo.
- Facilidad de cambio de las dimensiones de los eslabones.
- Bajo peso de los mecanismos para fácil manejo.

3.1.2.1 DISEÑO DE ESLABONES

Todos los eslabones de los mecanismos RRRR, RRRP y RRPR fueron basados en un mismo diseño, en el cual solo cambian para cada eslabón características como la longitud, la ubicación de los barrenos que contienen al tornillo prisionero y en el caso especial de las manivelas, cambia la forma de la cavidad situada en su lado izquierdo.

Los eslabones diseñados son cuerpos delgados, con espesor pequeño y con formas redondeadas en su extremo izquierdo. Estas dos primeras características permiten a los eslabones no salir de su área de trabajo correspondiente y también ser planos, la tercera de éstas le da al diseño cierta estética, rompiendo con el uso de formas geométricas comunes como lo sería una forma rectangular.

Para lograr un bajo peso en los eslabones, el material seleccionado para su maquinado fue aluminio 6063T5, debido a que le proporcionará aparte de ligereza, mayor resistencia y durabilidad que el aluminio puro. Otra razón muy importante por la cual fue elegido este material, es que la manufactura de los eslabones fue realizada en la fresadora CNC de la universidad, la cual no tiene la capacidad necesaria para trabajar con materiales más duros como el acero.

En el extremo izquierdo de los eslabones se encuentra presente una cavidad, la cual en el caso de los acopladores y balancines les permitirá ensamblarse a un rodamiento de bolas que los unirá con una junta de revoluta, y en el caso de las manivelas, a un eje de transmisión, el cual moverá al mecanismo.

Situada al extremo derecho se ubica un corte muy importante en la pieza, el cual es una corredera con perfil “Cola de Milano” por donde se desplazará una junta que unirá al presente eslabón con otro contiguo. El desplazamiento de una de las dos juntas permitirá al eslabón variar su longitud de acuerdo a los objetivos del proyecto, ya que ésta es la distancia que existe entre el centro de la junta de su lado izquierdo y el centro de la junta ubicada a su lado derecho.

El perfil “Cola de milano” presente en la corredera, fue elegido con el propósito de hacer al eslabón lo mas plano posible, es decir, con menor espesor. Esto es posible gracias a que sus lados inclinados a 45° permiten a la corredera estar

ubicada en el extremo inferior del eslabón y que la junta deslice en la corredera sin salir de ésta.

Una ventaja que tiene el uso del perfil “Cola de Milano” para la corredera sobre otros perfiles como el T (te), es que el área de contacto existente entre ésta y el carro es menor, lo cuál reducirá la fricción producida. Para poder ver lo anterior de una manera mas clara, a continuación se muestra el perfil elegido junto al perfil T.



Fig. 30. Perfil “Cola de milano” elegido junto a perfil “T”.

Con el fin de impedir el desplazamiento de la junta dentro de la corredera cuando se requiera fijar cierta longitud del eslabón, están presentes en el costado de cada eslabón dos barrenos con cuerda que albergarán a dos tornillos opresores $1/8-40UNC-2B$.

Con el fin de permitir la entrada de la junta a la corredera, cada eslabón contará con una tapa soldada en su extremo derecho.

Los dibujos normalizados de cada uno de los eslabones maquinados para éste proyecto se encuentran en el apéndice A de éste reporte.

La siguiente figura muestra un isométrico de una manivela, de un acoplador y de la tapa de eslabones.

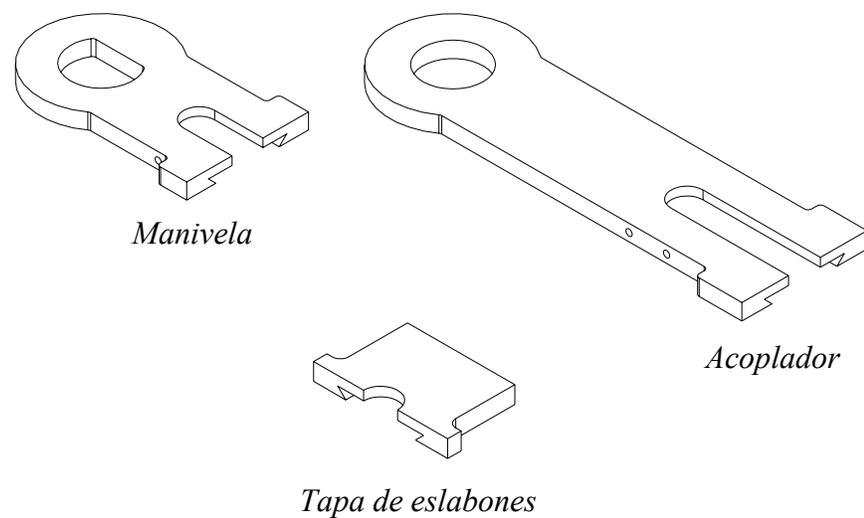


Fig. 31. Isométrico de eslabones y tapa de eslabones.

3.1.2.2 DISEÑO DE JUNTAS

Para unir un par de eslabones en donde solamente existe movimiento rotacional entre ellos, fueron diseñadas juntas de revoluta, las cuales tienen la característica de poder desplazarse a lo largo de los eslabones y así aumentar o disminuir la longitud de éstos.

El material que se seleccionó para maquinar a las juntas es aluminio no aleado debido a su bajo peso y a que las piezas siempre estarán adentro de los eslabones

en donde no habrá ninguna fuerza que las flexione o deforme. Para la selección del material no se tomó en cuenta el factor del desgaste, debido a que el desplazamiento de las piezas a lo largo de los eslabones no será continuo y la mayoría del tiempo estarán fijas.

Las juntas de revoluta están formadas por dos componentes:

1. Carro de junta: Su función es desplazarse a lo largo de los eslabones. Es una placa rectangular con un espesor de 3mm y tiene un perfil con forma de trapecio con los lados inclinados a un ángulo de 45° que se acopla perfectamente al interior del perfil “Cola de Milano” que posee la corredera del eslabón, el perfil trapecoidal tiene un corte a cada lado que le aplana ambos lados para disminuir su área de contacto con el eslabón y que también facilitará su ensamble.

En la cara superior del carro se ubica un barreno en donde se ensamblará el segundo componente de la junta.

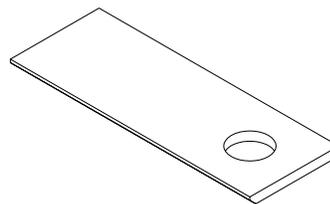


Fig. 32. Isométrico de carro de junta.

2. Perno de junta: Tiene la función de ser el eje de rotación del eslabón contiguo y también sirve de tope para que la longitud de su eslabón no salga del intervalo de diseño.



Fig. 33. Isométrico de perno de junta.

El perno se compone de dos o tres secciones con diferentes diámetros según los eslabones que une. Para el perno de la figura 33, la sección superior sirve de tope para controlar la longitud de su eslabón, en la sección media se ensamblará con el carro de junta y la sección inferior se ensamblará al diámetro interior de un rodamiento, el cual a su vez se unirá en su diámetro exterior con un eslabón contiguo.

Para identificar el centro de la junta, cada perno llevará una perforación hecha con la punta de una broca de centros en la cara superior.

A continuación se muestra un isométrico de una junta de revoluta. Los dibujos normalizados de sus componentes se encuentran en el apéndice A del reporte.

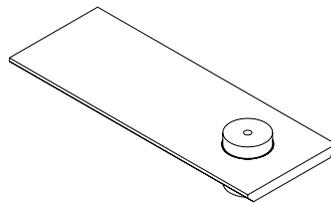


Fig. 34. Isométrico de junta de revoluta.

En el mecanismo de manivela corredera, el cuerpo de la camisa de la corredera experimenta un movimiento rotacional con respecto al punto A y traslacional con respecto a la guía de la corredera. Éste tipo de movimiento también se presenta en la camisa de la corredera del mecanismo inversión tipo I de manivela corredera, en donde ésta rota con respecto a O_2 y desliza sobre la guía de corredera.

La camisa de la corredera es un cuerpo que sirve de unión entre un eslabón móvil y una guía de corredera, mediante una junta de revoluta y una prismática respectivamente. Ésta unión se diseño parcialmente, debido a que la guía de la corredera junto con la camisa de la corredera fueron adquiridas en el mercado, por lo que solamente fue necesario hacer un diseño de la junta de revoluta para unir a las piezas adquiridas con el eslabón móvil.

En el movimiento traslacional que hay en la unión de la camisa y la guía de la corredera, se requiere tanto de precisión para evitar saltos bruscos de posición, así como que las fuerzas de fricción sean muy pequeñas. Maquinar piezas que hagan posible esta unión con maquinaria disponible en la Universidad amerita mucho tiempo y dinero, por lo que adquirirlas en el mercado fue una buena opción.

La pieza que une al eslabón acoplador con la camisa de la corredera del mecanismo RRRP en el punto *B*, está hecha como la mayoría de componentes en aluminio 6063T5. Ésta se une al acoplador mediante un rodamiento que evitará la fricción entre ambas piezas, mientras que su unión con la camisa de la corredera es por medio de dos tornillos con tuerca. La forma de ésta pieza llamada en este proyecto “Junta de corredera” se muestra en la figura 35.

Los dos barrenos con caja de la derecha, albergarán a los dos pernos, de manera que sus cabezas queden ocultas, y en el barreno ubicado del lado izquierdo, se ensamblará el rodamiento que se unirá al eslabón acoplador.

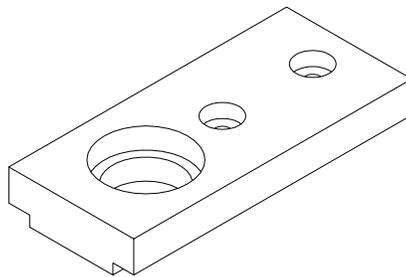


Fig. 35. Isométrico de junta de corredera.

En el mecanismo RRPR, la camisa de la corredera se une al eslabón manivela en el punto *A* por medio de una pieza con la misma función y constituida con el mismo material que la mostrada en la figura anterior. Dicha pieza nombrada “Extremo guía lado manivela” se muestra en la figura siguiente:

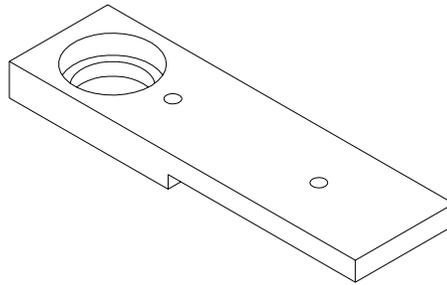


Fig. 36. Isométrico de extremo guía lado manivela.

Otra pieza nombrada “Extremo guía lado chumacera”, es la encargada de unir a la guía de la corredera con el eslabón fijo. En éste caso se eligió acero 1018 *cold rolled* como material para maquinar ésta pieza por tener mayor resistencia a la flexión que el aluminio, y así evitar cualquier deformación debida a la carga que la guía de la chumacera ejercerá sobre ésta.

Ésta pieza se unirá a la guía de la corredera mediante dos tornillos con tuerca, los cuales se alojarán en los dos barrenos a la derecha de la pieza, y a al eslabón fijo mediante un eje que será ensamblado en el barreno de mayor diámetro de la pieza.

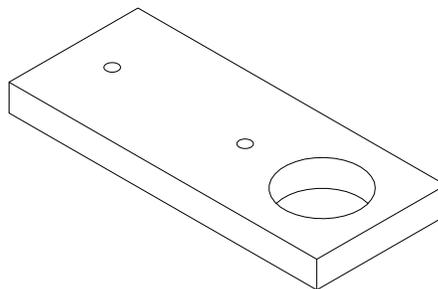


Fig. 37. Isométrico de extremo guía lado chumacera.

El material del eje que será alojado en el barreno de mayor diámetro del “Extremo guía lado chumacera” es también acero 1018 *cold rolled*. Esta pieza a su vez se unirá a una chumacera (eslabón fijo) por su otro extremo. Este eje es llamado “Eje de salida” por estar ubicado en el punto O_4 del mecanismo y es mostrado en la figura 38.

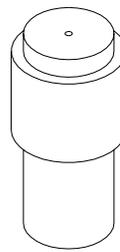


Fig. 38. Isométrico de eje de salida.

La unión del “Extremo guía lado chumacera” con el “Eje de salida”, conforma a la junta de revoluta ubicada en el nodo O_4 del mecanismo RRPR:

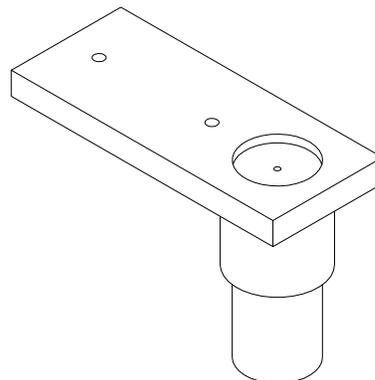


Fig. 39. Isométrico de ensamble de extremo guía lado Chumacera con eje de salida.

3.1.2.3 DISEÑO DE EJE DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

El movimiento de entrada del mecanismo será provisto por un taladro de velocidad y torque variable, el cual lo transmitirá por medio de un eje de transmisión, utilizando un cople como unión entre ambos.

3.1.2.3.1 EJE DE ENTRADA

El eje que transmite a los tres mecanismos el movimiento de entrada en el punto O_2 , fue llamado “Eje de entrada” para éste proyecto. Éste es una pieza cilíndrica dividida en cuatro secciones de diferente diámetro y se muestra a continuación.

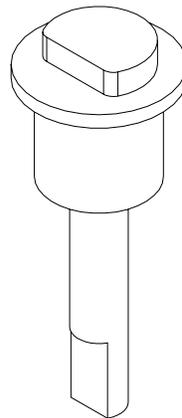


Fig. 39. Isométrico de eje de entrada.

El corte presente en la sección superior tiene la misma forma que la cavidad presente en las manivelas diseñadas, y sirve para que las dos giren a la par. La sección inferior en la parte en donde no existen cortes, girará dentro de una chumacera, la cual unirá al eje con el eslabón fijo. En las dos secciones intermedias descansarán la manivela y la chumacera.

El corte presente en la parte mas baja del eje, tiene la función de asegurar que éste gire a la par del motor que proveerá el movimiento de entrada al mecanismo mediante un cople llamado “Cople motor-eje”.

Debido a que el cople se unirá al eje de entrada por medio de un tornillo prisionero de acero grado herramienta, habrá cierto desgaste de material en el eje. Con el fin de minimizar este desgaste, se eligió acero 1018 *cold rolled* para maquinar tanto al eje de transmisión como al cople porque tiene mayor dureza que el aluminio disponible y es fácil de adquirir por menudeo.

3.1.2.3.2 COPLE MOTOR-EJE

El cople motor-eje es una pieza cilíndrica perforada en su interior en dos secciones de diferente diámetro, uno adecuado para albergar al eje de entrada y otro para albergar al eje del motor y posee dos barrenos con cuerda en donde se ubicarán dos tornillos prisioneros que asegurarán el ensamble.

La siguiente figura muestra al cople motor-eje.

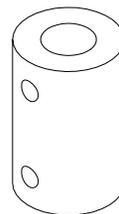


Fig. 40. Isométrico de cople motor-eje.

3.1.2.4 DISEÑO DE SOPORTE PARA MECANISMOS

Cada uno de los tres mecanismos irá fijado a un soporte, el cual aparte de ser su apoyo, también cumplirá la función de ser su eslabón fijo (eslabón 1).

El soporte de los mecanismos se compone de dos tablas de MDF unidas entre si mediante pegamento blanco, clavos sin cabeza y mensulas.

Debido a que el MDF esta hecho a base de fibras, resina, cera y urea compactados, no contiene impurezas que dificulten su corte con *router*, asimismo, no absorbe humedad y es resistente al peso de los mecanismos.

La siguiente figura muestra los soportes de los tres mecanismos. A la derecha se encuentra el correspondiente para el RRRR, al centro para el RRRP y a la izquierda para el RRPR:

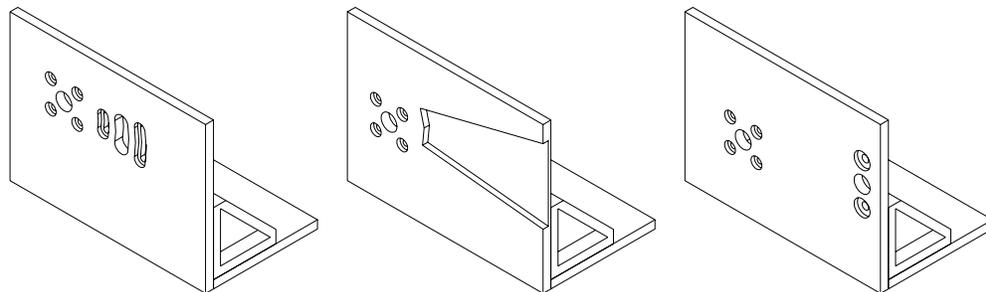


Fig. 41. Isométrico de soportes de mecanismos.

Las tablas verticales (base de mecanismo) tienen presentes del lado izquierdo cuatro barrenos con caja, en los cuales se fijarán con tornillos las chumaceras en donde girarán los ejes de entrada de los tres mecanismos. En los cortes ubicados al lado derecho de las tablas verticales, se fijarán otros componentes como chumaceras o guías de corredera.

El recubrimiento de las bases de los mecanismos es de pintura vinílica color blanco, ya que este color permite distinguir claramente a los componentes de los mecanismos al ser videograbados.

3.2 MANUFACTURA Y ENSAMBLE

DE COMPONENTES

3.2.1 MANUFACTURA

La mayoría de los componentes de los tres mecanismos planos, fueron diseñados para unirse entre ellos mediante ajustes por interferencia, en donde las magnitudes y tolerancias de los diámetros tanto de las mazas como de los árboles tienen precisiones hasta de algunos pocos micrómetros (0.001mm).

En base a que el material elegido para manufacturar a los eslabones y a las juntas es aluminio (metal suave) y a que para hacerlo se requiere una precisión de micrómetros, fue decidido hacer su manufactura en la fresadora de control numérico computarizado ubicada en el C.E.M.A.C de la Universidad. Otro factor importante en la elección de esta máquina, fue su capacidad para hacer cortes circulares precisos como los requeridos en los eslabones, los cuales, las fresadoras verticales convencionales que posee la Universidad no son capaces de hacerlos debido a la falta sus accesorios necesarios.

Por causas ajenas al proyecto, en la fresadora C.N.C. solamente se lograron maquinar todos los eslabones incluyendo sus tapas, faltando así las juntas, de las cuales sus carros tuvieron que ser manufacturados fuera de la escuela y sus pernos dentro, en una fresadora vertical convencional.

A causa de que los seis eslabones maquinados tienen el mismo diseño, los programas empleados para su manufactura en máquina C.N.C., siguen el mismo formato que los empleados para maquinar a la manivela del mecanismo RRRR, los cuales son mostrados en el apéndice A de este reporte.

Piezas como el eje de salida del mecanismo RRRR y parte de los ejes de transmisión de los tres mecanismos fueron cilindrados empleando un torno paralelo propiedad de la Universidad.

Los componentes restantes como lo son: el cople motor-eje, la junta de corredera, el extremo guía lado manivela, el extremo guía lado chumacera, los barrenos con cuerda de los eslabones y los cortes restantes en los ejes de transmisión, tuvieron que ser maquinados fuera de la Universidad por falta de disponibilidad del taller mecánico de la Universidad.

3.2.2 ENSAMBLE

Para ensamblar a cada mecanismo fueron utilizados diferentes tipos de unión como tornillería, ajustes por interferencia y soldadura.

Por conveniencia cada ensamble fue dividido en los siguientes subensambles, los cuales indican el tipo de unión empleado para cada uno:

1. Chumaceras y guías de corredera con base de mecanismo (tornillería).
2. Manivela con eje de transmisión (ajuste con apriete).
3. Carro de junta con perno de junta (ajuste con apriete).
4. Eslabón con balero (ajuste con apriete).
5. Perno de junta con balero (ajuste con apriete).
6. Eslabón con tapa de eslabones (soldadura con argón)
7. Junta lado chumacera con eje de salida (ajuste con apriete).
8. Eje de transmisión o perno de balancín con chumacera (ajuste con apriete).
9. Eje de salida con chumacera (ajuste con apriete).
10. Esfuerzos en ajustes forzados por interferencia

3.2.2.1 SUBENSAMBLE 1: CHUMACERAS Y GUIAS-BASE

DE MECANISMO

La fijación de las chumaceras a las bases del mecanismo se llevó a cabo mediante tornillería. Para el ensamble de chumaceras de ½ pulgada de diámetro fueron empleados tornillos 3/8-16UNC-2A y 7/16-14UNC-2A para chumaceras de una pulgada de diámetro.

La guía de corredera del mecanismo de Manivela Corredera se fijó a la base utilizando tornillos 1/8-32UNC-2A con tuerca y rondana.

3.2.2.2 SUBENSAMBLE 2: MANIVELA-EJE DE TRANSMISIÓN

Para llevar a cabo una unión por ajuste con apriete o juego es necesario aparte de hacer la designación del ajuste correspondiente, calcular las tolerancias principales requeridas para el agujero y para el árbol.

Designación de ajuste: Ajuste 25.425 H7/p6. Ensamble a mano auxiliándose de un mazo.

Tolerancias principales: Árbol: $25.425H7 = 24_0^{+0.021}$, Agujero: $24p6 = 24_{+0.022}^{+0.035}$

Los juegos y aprietes máximos y mínimos que pueden llegar a presentarse en la unión de las dos piezas se obtuvieron aplicando las ecuaciones 14, 15, 17 y 18.

$$\text{Juego máx} = -0.001 \text{ mm.}$$

$$\text{Juego mín} = -0.035 \text{ mm.}$$

$$\text{Apriete máx} = 0.035 \text{ mm.}$$

$$\text{Apriete mín} = 0.001 \text{ mm.}$$

3.2.2.3 SUBENSAMBLE 3: CARRO DE JUNTA-PERNO

DE JUNTA (JUNTA)

Designación de ajuste: Ajuste 12.5 H7/p6. Ensamble a mano auxiliándose de un mazo.

Tolerancias principales: Árbol: $12.5H7 = 12.5_{0}^{+0.018}$, Agujero: $12.5p6 = 12.5_{+0.018}^{+0.029}$

Los juegos y aprietes máximos y mínimos:

Juego máx = 0 mm.

Juego mín = -0.029 mm.

Apriete máx = 0.029 mm.

Apriete mín = 0.0 mm.

3.2.2.4 SUBENSAMBLE 4: ESLABÓN-BALERO

Las tolerancias principales de este ajuste, fueron también empleadas para la unión de la junta de corredera-balero (mecanismo RRRP) y extremo guía lado manivela-balero (mecanismo RRPR).

Designación de ajuste: Ajuste 24 h7/P6 (Sistema árbol normal utilizado en rodamientos). Ensamble a mano auxiliándose de un mazo.

Tolerancias principales: Por ser el balero un componente con tolerancias especificadas por el fabricante, sólo fue necesario determinar las correspondientes para el agujero del eslabón. Para esto se determinaron los juegos y aprietes máximos y mínimos que requiere el ajuste, utilizando tolerancias principales teóricas de ambos componentes.

Tolerancias principales teóricas: Árbol: $24h7 = 24^{+0}_{-0.021}$, Agujero: $24P6 = 24^{-0.022}_{-0.035}$

Los juegos y aprietes máximos y mínimos:

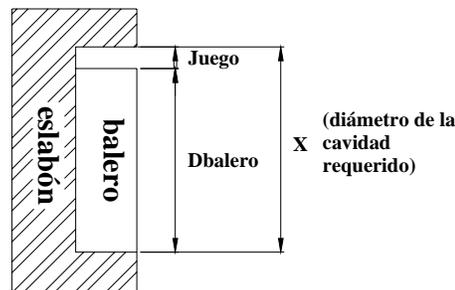
$$\text{Juego máx} = -0.001 \text{ mm.}$$

$$\text{Juego mín} = -0.035 \text{ mm.}$$

$$\text{Apriete máx} = 0.035 \text{ mm.}$$

$$\text{Apriete mín} = 0.001 \text{ mm.}$$

Tolerancias principales del agujero: Fueron obtenidas mediante las siguientes ecuaciones.



$$\text{Juego}_{\text{máx}} = X_{\text{máx}} - D_{\text{balero}_{\text{mín}}} \quad (21)$$

$$\text{Juego}_{\text{mín}} = X_{\text{mín}} - D_{\text{balero}_{\text{máx}}} \quad (22)$$

despejando...

$$X_{\text{máx}} = \text{Juego}_{\text{máx}} + D_{\text{balero}_{\text{mín}}} \quad (21')$$

$$X_{\text{mín}} = \text{Juego}_{\text{mín}} + D_{\text{balero}_{\text{máx}}} \quad (22')$$

Siendo:

$X_{\text{máx}}$ y $X_{\text{mín}}$: Diámetro máximo y mínimo del agujero.

$\text{Juego}_{\text{máx}}$ y $\text{Juego}_{\text{mín}}$: Juego máximo y juego mínimo en la unión.

$D_{\text{balero}_{\text{máx}}}$ y $D_{\text{balero}_{\text{mín}}}$: Diámetro máximo y mínimo del balero.

La dimensión con tolerancias reales del diámetro exterior del balero (dadas por el fabricante) es $24_{-0.01}^{+0.01}$, por lo tanto:

$$D_{balero_{m\acute{a}x}} = 24.01 \text{ y } D_{balero_{m\acute{i}n}} = 23.99$$

Sustituyendo los valores obtenidos en 21`y 22`:

$$X_{m\acute{a}x} = 23.989 \text{ y } X_{m\acute{i}n} = 23.975$$

$$X = 24_{-0.025}^{-0.011}$$

3.2.2.5 SUBENSAMBLE 5: PERNO DE JUNTA-BALERO

En este subensamble el agujero esta representado por el balero, por lo que solamente fue necesario determinar las tolerancias principales del perno (árbol).

Designación de ajuste: Ajuste 12 h7/P6 (Sistema árbol normal utilizado en rodamientos). Ensamble a mano auxiliándose de un mazo.

Tolerancias principales teóricas: Árbol: $12h7 = 12_{-0.018}^{+0}$, Agujero: $12P6 = 12_{-0.019}^{-0.018}$

Los juegos y aprietes máximos y mínimos:

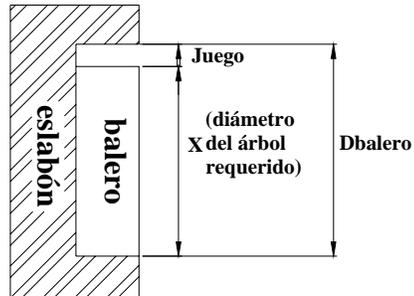
$$Juego \acute{m}ax = 0 \text{ mm.}$$

$$Juego \acute{m}in = -0.029 \text{ mm.}$$

$$Apriete \acute{m}ax = 0.029 \text{ mm.}$$

$$Apriete \acute{m}in = 0 \text{ mm.}$$

Tolerancias principales del árbol: Fueron obtenidas mediante las siguientes ecuaciones.



$$Juego_{m\acute{a}x} = D_{balero_{m\acute{a}x}} - X_{min} \quad (23)$$

$$Juego_{m\acute{i}n} = D_{balero_{m\acute{i}n}} - X_{m\acute{a}x} \quad (24)$$

despejando...

$$X_{m\acute{a}x} = D_{balero_{m\acute{i}n}} - Juego_{m\acute{i}n} \quad (23')$$

$$X_{m\acute{i}n} = D_{balero_{m\acute{a}x}} - Juego_{m\acute{a}x} \quad (24')$$

Siendo:

$X_{m\acute{a}x}$ y $X_{m\acute{i}n}$: Diámetro máximo y mínimo del árbol.

$Juego_{m\acute{a}x}$ y $Juego_{m\acute{i}n}$: Juego máximo y juego mínimo en la unión.

$D_{balero_{m\acute{a}x}}$ y $D_{balero_{m\acute{i}n}}$: Diámetro máximo y mínimo del balero.

La dimensión con tolerancias reales del diámetro interior del balero (dadas por el fabricante) es $12^{+0.015}_{-0.005}$, por lo tanto:

$$D_{balero_{m\acute{a}x}} = 12.015 \text{ y } D_{balero_{m\acute{i}n}} = 11.995$$

Sustituyendo los valores obtenidos en 23' y 24':

$$X_{m\acute{a}x} = 12.024 \text{ y } X_{m\acute{i}n} = 12.015$$

$$X = 12_{+0.015}^{+0.024}$$

3.2.2.6 SUBENSAMBLE 6: ESLABÓN-TAPA DE ESLABONES

Debido a la dificultad de unir a ambas piezas mediante tornillería, fue optado el uso de soldadura adecuada para aleaciones de aluminio.

Al no contar con equipo para soldar aleaciones de aluminio, la soldadura se realizó en un taller de soldadura especializada con gas argón.

El gas argón empleado para soldar aluminio y aleaciones de aluminio le proporciona a la unión resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y ausencia de fisuras.

3.2.2.7 SUBENSAMBLE 7: JUNTA LADO CHUMACERA- EJE DE SALIDA

Designación de ajuste: Ajuste 25.4 H7/p6. Ensamble a mano auxiliándose de un mazo.

Tolerancias principales: Árbol: $25.4H7 = 25.4_0^{+0.021}$, Agujero: $25.4p6 = 25.4_{+0.022}^{+0.035}$

Los juegos y aprietes máximos y mínimos:

$$Juego\ máx = -0.001\ mm.$$

$$Juego\ mín = -0.035\ mm.$$

$$Apriete\ máx = 0.035\ mm.$$

$$Apriete\ mín = 0.001\ mm.$$

3.2.2.8 SUBENSAMBLE 8: EJE DE TRANSMISIÓN O PERNO DE BALANCÍN-CHUMACERA

Teniendo la chumacera tolerancias definidas por el fabricante, las tolerancias principales del eje de transmisión (árbol) fueron determinadas empleando las ecuaciones 23`y 24`.

Designación de ajuste: Ajuste 12.7 h7/P6 (Sistema árbol normal utilizado en rodamientos). Ensamble a mano auxiliándose de un mazo.

Tolerancias principales teóricas: Árbol: $12.7h7 = 12.7^{+0}_{-0.018}$, Agujero:
 $12.7P6 = 12.7^{-0.018}_{-0.019}$

Los juegos y aprietes máximos y mínimos:

$$\text{Juego máx} = 0 \text{ mm.}$$

$$\text{Juego mín} = -0.029 \text{ mm.}$$

$$\text{Apreté máx} = 0.029 \text{ mm.}$$

$$\text{Apreté mín} = 0 \text{ mm.}$$

La dimensión con tolerancias reales del diámetro interior de la chumacera (dadas por el fabricante) es $12.7^{+0.01}_{-0.01}$, por lo tanto:

$$D_{balero_{máx}} = 12.71 \text{ y } D_{balero_{mín}} = 12.69$$

Sustituyendo los valores obtenidos en 23`y 24`:

$$X_{máx} = 12.719 \text{ y } X_{mín} = 12.71$$

$$X = 12.7_{+0.01}^{+0.019}$$

3.2.2.9 SUBENSAMBLE 9: EJE DE SALIDA-CHUMACERA

Las tolerancias principales del eje de transmisión (árbol) fueron determinadas empleando las ecuaciones 23` y 24`.

Designación de ajuste: Ajuste 25.4 h7/P6 (Sistema árbol normal utilizado en rodamientos). Ensamble a mano auxiliándose de un mazo.

Tolerancias principales teóricas: Árbol: $25.4h7 = 25.4_{-0.021}^{+0}$, Agujero: $25.4P6 = 25.4_{-0.035}^{-0.022}$

Los juegos y aprietes máximos y mínimos:

$$Juego\ máx = -0.001\ mm.$$

$$Juego\ mín = -0.035\ mm.$$

$$Apretete\ máx = 0.035\ mm.$$

$$Apretete\ mín = 0.001\ mm.$$

La dimensión con tolerancias reales del diámetro interior de la chumacera (dadas por el fabricante) es $25.4_{-0.01}^{+0.01}$, por lo tanto:

$$Dbalero_{máx} = 25.41\ y\ Dbalero_{mín} = 25.39$$

Sustituyendo los valores obtenidos en 23` y 24`:

$$X_{máx} = 25.425\ y\ X_{mín} = 25.411$$

$$X = 25.4^{+0.025}_{+0.011}$$

3.2.2.10 ESFUERZOS EN AJUSTES FORZADOS

POR INTERFERENCIA

Las componentes de los subensambles 2, 3 y 4 se encontrarán sometidos a esfuerzos tangenciales y radiales, los cuales en caso de sobrepasar a los límites elásticos de sus materiales, podrían ceder y la maza se aflojaría de la flecha.

Para conocer el valor de los esfuerzos presentes tanto en la flecha como en la maza y así poder hacer una comparación con los límites elásticos de cada material, se solucionaron las ecuaciones 6, 9, 10, 11 y 12 con la ayuda de una hoja de cálculo.

- Subensamble 2: Manivela-eje de transmisión

DATOS

Δr	1.75E-05	m	E_o	2.10E+11	N/m ²
r	0.025425	m	E_i	6.90E+10	N/m ²
r_o	4.00E-02	m	V_o	2.90E-01	s/u
r_i	0	m	V_i	0.35	s/u

RESULTADOS

Presión	$P =$	3.12E+07	
			flecha masa
esfuerzo tangencial	$\sigma_t =$	-31249060	7.36E+07 N/m ²
esfuerzo radial	$\sigma_r =$	-3.12E+07	-3.12E+07 N/m ²

El límite elástico del aluminio 6063T5 (material de eslabón) y del acero 1018 cold rolled (material del rodamiento) se muestran a continuación:

limite elástico del AL 6063T5 a tensión	2.76E+08	N/m ²
limite elástico del AL 6063T5 a compresión	2.76E+08	N/m ²
limite elástico AC 1018 cold rolled a tensión	4.41E+08	N/m ²
limite elástico AC 1018 cold rolled a compresión	4.41E+08	N/m ²

Los límites elásticos inferiores a los esfuerzos tangencial y radial en las piezas, indican que no habrá cedencia, por lo que la maza no se aflojará de la flecha.

- Subensamble 3: Carro de junta-perno de junta

DATOS

Δr	0.0000175	m	E_o	2.10E+11	N/m ²
r	0.024	m	E_i	6.80E+10	N/m ²
r_o	4.00E-02	m	V_o	2.90E-01	s/u
r_i	0.012	m	V_i	0.35	s/u

RESULTADOS

Presión	P =	2.36E+07		
			flecha	masa
esfuerzo tangencial	$\sigma_t =$	-39376853	5.02E+07	N/m ²
esfuerzo radial	$\sigma_r =$	-2.36E+07	-2.36E+07	N/m ²

El límite elástico del aluminio 6065T5 (material de ambas piezas) es el siguiente:

limite elástico del AL 6063T5 a tensión	2.76E+08	N/m ²
limite elástico del AL 6063T5 a compresión	2.76E+08	N/m ²

Por lo que no habrá cedencia en ningún material.

- Subensamble 4: Eslabón-balero

DATOS

Δr	0.0000175	m	E_o	2.10E+11	N/m ²
r	0.024	m	E_i	6.80E+10	N/m ²
r_o	4.00E-02	m	V_o	2.90E-01	s/u
r_i	0.012	m	V_i	0.35	s/u

RESULTADOS

Presión	P =	2.36E+07		
			flecha	masa
esfuerzo tangencial	$\sigma_t =$	-39376853	5.02E+07	N/m ²
esfuerzo radial	$\sigma_r =$	-2.36E+07	-2.36E+07	N/m ²

El límite elástico del aluminio 6063T5 (material de eslabón) y del acero 100Cr6 (material del rodamiento) son los siguientes:

límite elástico del AL 6063T5 a tensión	2.76E+08	N/m ²
límite elástico del AL 6063T5 a compresión	2.76E+08	N/m ²
límite elástico AC 100Cr6 a tensión	6.80E+08	N/m ²
límite elástico AC 100Cr6 a compresión	6.80E+00	N/m ²

Los límites elásticos de los materiales son menores tanto al esfuerzo radial como al esfuerzo tangencial, por lo que no se presentará cedencia en ninguna pieza.

3.3 PRUEBA DE LOS MECANISMOS

Fueron realizadas las prácticas 5, 6 y 7 del manual de Laboratorio de Mecanismos para evaluar el porcentaje de error que existe en el registro del movimiento de cada mecanismo.

Durante la prueba se grabó en video el movimiento de cada uno de los tres mecanismos bajo condiciones óptimas de luz, empleando lámparas para fotografía y siguiendo paso a paso las indicaciones de las prácticas.

De cada uno de los videos obtenidos fueron extraídos cuatro cuadros de un solo ciclo con la ayuda del software de diseño *Adobe Premier Standard*®, de los cuales extrajeron mediante autoCad los datos necesarios para realizar el análisis de resultados.

Los datos de referencia se obtuvieron empleando la suite KIMA®.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la prueba de los mecanismos y posteriormente su análisis.

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada mecanismo, empleando el método indicado en las prácticas y también los resultados determinados por la suite KIMA® para su posterior comparación.

4.1.1 MECANISMO RRRR

La práctica de Laboratorio de Mecanismos correspondiente para este mecanismo es la 5.

4.1.1.1 RESULTADOS DE PRÁCTICA 5

CUADRO	01	02	03	04
1	0.6718	-119.0555	-23.8857	-107.2823
2	0.6718	-143.3175	-26.5241	-117.9109
3	0.6718	-154.5441	-28.3871	-122.2918
4	0.6718	-166.1479	-30.7377	-126.3226

Tabla 6. Valores de la posición de los eslabones del del mecanismo RRRR medidos de Autocad.

Empleando las fórmulas de la tabla 5.1 de la práctica 5 – parte II de Laboratorio de Mecanismos se obtuvieron las siguientes velocidades y aceleraciones experimentales.

CUADRO	ω_2	ω_3	ω_4
2	-0.2190	-0.0238	-0.0960
3	-0.2261	-0.0375	-0.0882
4	-0.2095	-0.0424	-0.0728

Tabla 7. Valores experimentales de la velocidad de los eslabones del mecanismo RRRR.

CUADRO	α_2	α_3	α_4
3	-0.0081	-0.0158	0.0089
4	0.0171	-0.0051	0.0160

Tabla 8. Valores experimentales de la aceleración de los eslabones del mecanismo RRRR.

4.1.1.2 RESULTADOS DE KIMA

CUADRO 1

```

*** Resultados *** CUATRO BARRAS *** Configuracion: CRUZADA
Manivela : 50.0000 < -119.0555°
Vel. Ang.: 500.0000 rad/s, acel. ang.: 500.0000 rad/s2
Velocidad: 25000.0000 < -29.0555°, Aceleracion: 12500025.0000 < 60.8299°

Acoplador : 145.0000 < -23.8511°
Vel. Ang.: 34.9525 rad/s, acel. ang.: -45108.7148 rad/s2

Oscilador : 109.0000 < -107.4335°
Vel. Ang.: 229.8526 rad/s, acel. ang.: 15004.9248 rad/s2
Velocidad: 25053.9355 < -17.4335°, Aceleracion: 5986464.0000 < 56.7114°

Fijo : 141.0000 < 0.6718° Grashoff: SI
KIMA 2.5, autor: Rony Perez Moreno <rony@fenix.uam.mx rony@correo.azc.uam.mx>
Otro valor del angulo de entrada? [0=no,1=sil: _
    
```

CUADRO 2

```

C:\Documents and Settings\Hiram\Mis documentos\archivos de escuela\PT\pruebas\4B\4B-...
*** Resultados *** CUATRO BARRAS *** Configuracion: CRUZADA
Manivela : 50.0000 < -143.3175°
Vel. Ang.: -0.2190 rad/s, acel. ang.: 500.0000 rad/s2
Velocidad: 10.9514 < -233.3175°, Aceleracion: 25000.0000 < -53.3120°
Acoplador : 145.0000 < -26.4792°
Vel. Ang.: -0.0322 rad/s, acel. ang.: 73.5442 rad/s2
Oscilador : 109.0000 < -118.0755°
Vel. Ang.: -0.0897 rad/s, acel. ang.: 204.7401 rad/s2
Velocidad: 9.7755 < -208.0755°, Aceleracion: 22316.6680 < -28.0733°
Fijo : 141.0000 < 0.6718° Grashoff: SI
KIMA 2.5, autor: Rony Perez Moreno <rony@fenix.uam.mx rony@correo.azc.uam.mx>
Otro valor del angulo de entrada? [0=no,1=sil: _
    
```

CUADRO 3

```

C:\Documents and Settings\Hiram\Mis documentos\archivos de escuela\PT\pruebas\4B\4B-...
*** Resultados *** CUATRO BARRAS *** Configuracion: CRUZADA
Manivela : 50.0000 < -154.5441°
Vel. Ang.: -0.2261 rad/s, acel. ang.: -0.0081 rad/s2
Velocidad: 11.3043 < -244.5441°, Aceleracion: 2.5880 < 34.5097°
Acoplador : 145.0000 < -28.3353°
Vel. Ang.: -0.0415 rad/s, acel. ang.: -0.0110 rad/s2
Oscilador : 109.0000 < -122.4649°
Vel. Ang.: -0.0839 rad/s, acel. ang.: 0.0081 rad/s2
Velocidad: 9.1448 < -212.4649°, Aceleracion: 1.1662 < 8.6732°
Fijo : 141.0000 < 0.6718° Grashoff: SI
KIMA 2.5, autor: Rony Perez Moreno <rony@fenix.uam.mx rony@correo.azc.uam.mx>
Otro valor del angulo de entrada? [0=no,1=sil: _
    
```

CUADRO 4

```

C:\Documents and Settings\Hiram\Mis documentos\archivos de escuela\PT\pruebas\4B\4B-...
*** Resultados *** CUATRO BAR
Manivela : 50.0000 < -166.1479°
Vel. Ang.: -0.2095 rad/s, acel. ang.: 0.0171 rad/s2
Velocidad: 10.4754 < -256.1479°, Aceleracion: 2.3562 < -7.4888°

Acoplador : 145.0000 < -30.6845°
Vel. Ang.: -0.0463 rad/s, acel. ang.: -0.0042 rad/s2

Oscilador : 109.0000 < -126.5012°
Vel. Ang.: -0.0678 rad/s, acel. ang.: 0.0166 rad/s2
Velocidad: 7.3851 < -216.5012°, Aceleracion: 1.8809 < -21.0733°

Fijo : 141.0000 < 0.6718° Grashoff: S1
KIMA 2.5, autor: Rony Perez Moreno <rony@fenix.uam.mx rony@correo.azc.uam.mx>
Otro valor del angulo de entrada? [0=no,1=sil: _
    
```

4.1.2 MECANISMO RRRP

La práctica de Laboratorio de Mecanismos correspondiente para este mecanismo es la 6.

4.1.2.1 RESULTADOS DE PRÁCTICA 6

CUADRO	01	02	03	r4
1	104	14.8336	20.0339	268.7082
2	104	-3.256	24.7041	263.6754
3	104	-14.739	27.4973	257.1469
4	104	-21.9415	29.1215	251.9158

Tabla 9. Valores de la posición de los eslabones del del mecanismo RRRP medidos de Autocad.

Empleando las fórmulas de la tabla 6.2 de la práctica 6 – parte II de Laboratorio de Mecanismos se obtuvieron las siguientes velocidades y aceleraciones experimentales.

CUADRO	ω_2	ω_3	V4
2	-0.2560	0.0661	-4.0806
3	-0.2312	0.0563	-7.5329
4	-0.2357	0.0532	-9.8083

Tabla 10. Valores experimentales de la velocidad de los eslabones del mecanismo RRRP.

CUADRO	a_2	a_3	a4
3	0.0285	-0.0114	-3.9833
4	-0.0083	-0.0058	-4.2664

Tabla 11. Valores experimentales de la aceleración de los eslabones del mecanismo RRRP.

4.1.2.2 RESULTADOS DE KIMA

CUADRO 1

```

C:\Documents and Settings\Hiram\Mis documentos\archivos de escuela\PT\pruebas\MCMC-...
*** Resultados *** MANIUELA CORREDERA *** Configuracion: t1 = t4 + 90°
Manivela : 55.0000 < 14.8336°
Vel. Ang.: 500.0000 rad/s, acel. ang.: 500.0000 rad/s^2
Velocidad: 27500.0000 < 104.8336°, Aceleracion: 13750027.0000 < -165.2810°
Acoplador : 214.0000 < 19.9544°
Vel. Ang.: -129.1881 rad/s, acel. ang.: 2551.3862 rad/s^2
Corredera : 267.8396 < 14.0000° x 23.0000
Velocidad : 2467.8677 < 14.0000° Aceleracion: 17357880.0000 < -166.0000°
KIMA 2.5, autor: Romy Perez Moreno <romy@fenix.uam.mx romy@correo.azc.uam.mx>
<http://fenix.uam.mx/romy>
Otro valor del angulo de entrada? [0=no,1=si]:
    
```

CUADRO 2

```

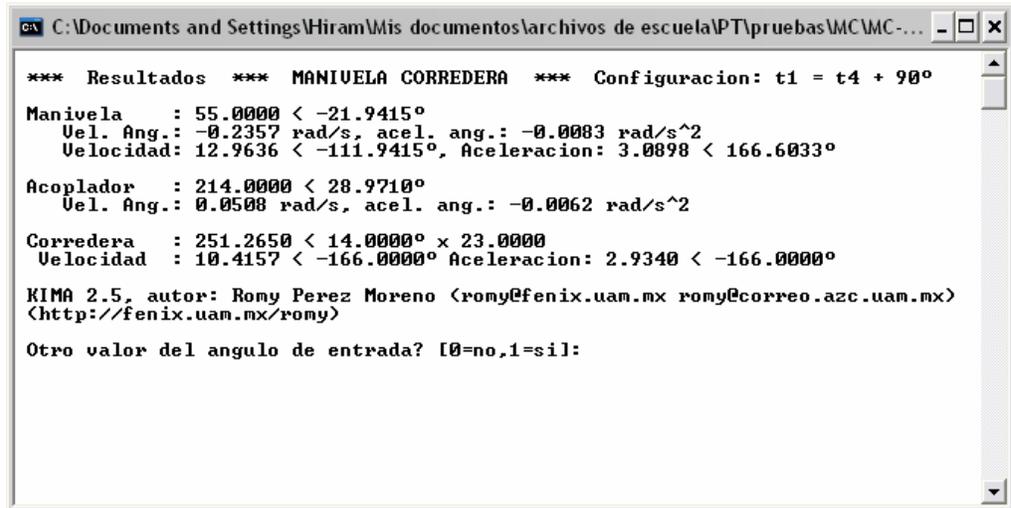
C:\Documents and Settings\Hiram\Mis documentos\archivos de escuela\PT\pruebas\MC\MC-...
*** Resultados *** MANIUELA CORREDERA *** Configuracion: t1 = t4 + 90°
Manivela : 55.0000 < -3.2560°
  Vel. Ang.: -0.2560 rad/s, acel. ang.: 500.0000 rad/s^2
  Velocidad: 14.0795 < -93.2560°, Aceleracion: 27500.0000 < 86.7515°
Acoplador : 214.0000 < 24.5863°
  Vel. Ang.: 0.0639 rad/s, acel. ang.: -124.8498 rad/s^2
Corredera : 262.8820 < 14.0000° x 23.0000
  Velocidad : 6.6896 < -166.0000° Aceleracion: 13061.8506 < 14.0000°
KIMA 2.5, autor: Romy Perez Moreno <romy@fenix.uam.mx romy@correo.azc.uam.mx>
<http://fenix.uam.mx/romy>
Otro valor del angulo de entrada? [0=no,1=si]:
  
```

CUADRO 3

```

C:\Documents and Settings\Hiram\Mis documentos\archivos de escuela\PT\pruebas\MC\MC-...
*** Resultados *** MANIUELA CORREDERA *** Configuracion: t1 = t4 + 90°
Manivela : 55.0000 < -14.7390°
  Vel. Ang.: -0.2312 rad/s, acel. ang.: 0.0285 rad/s^2
  Velocidad: 12.7187 < -104.7390°, Aceleracion: 3.3341 < 137.1651°
Acoplador : 214.0000 < 27.3590°
  Vel. Ang.: 0.0536 rad/s, acel. ang.: -0.0127 rad/s^2
Corredera : 256.4345 < 14.0000° x 23.0000
  Velocidad : 8.7638 < -166.0000° Aceleracion: 1.7921 < -166.0000°
KIMA 2.5, autor: Romy Perez Moreno <romy@fenix.uam.mx romy@correo.azc.uam.mx>
<http://fenix.uam.mx/romy>
Otro valor del angulo de entrada? [0=no,1=si]: _
  
```

CUADRO 4



4.1.3 MECANISMO RRPR

La práctica de Laboratorio de Mecanismos correspondiente para este mecanismo es la 7.

4.1.3.1 RESULTADOS DE PRÁCTICA 7

CUADRO	θ_1	θ_2	θ_4	r4
1	9.4793	-105.6009	-158.747	334.6487
2	9.4793	-114.7724	-160.0769	343.7787
3	9.4793	-125.162	-161.7732	352.7289
4	9.4793	-131.5383	-162.8953	357.4165

Tabla 12. Valores de la posición de los eslabones del del mecanismo RRPR medidos de Autocad.

Empleando las fórmulas de las tablas 7.1 y 7.2 de la práctica 7 – parte II de Laboratorio de Mecanismos se obtuvieron las siguientes velocidades y aceleraciones experimentales.

CUADRO	ω_2	ω_4	V4
2	-0.2183	-0.0317	12.4500
3	-0.2176	-0.0355	10.7402
4	-0.2226	-0.0392	9.3752

Tabla 13. Valores experimentales de la velocidad de los eslabones del mecanismo RRPR.

CUADRO	α_2	α_4	a4	a coriolis
3	0.0008	-0.0047	-2.0517	-0.76314183
4	-0.0100	-0.0073	-2.7301	-0.7344284

Tabla 14 Valores experimentales de la aceleración de los eslabones del mecanismo RRPR

4.1.3.2 RESULTADOS DE KIMA

CUADRO 1

```

C:\Documents and Settings\Hiram\Mis documentos\archivos de escuela\PT\pruebas\MCTIAM...
*** Resultados *** Inversion de manivela - corredera, Tipo: I
Manivela : 75.0000 < -105.6009°
Vel. Ang.: 500.0000 rad/s, acel. ang.: 500.0000 rad/s^2
Velocidad: 37500.0000 < -15.6009°, Aceleracion: 18750038.0000 < 74.2845°

Guia de Corr: -158.8129°
Vel. Ang.: 67.0049 rad/s, acel. ang.: -32752.8359 rad/s^2
Velocidad: 22457.0762 < -68.8129°, Aceleracion: 11067226.0000 < 103.3633°

Corredera : 334.7560
Velocidad: 30032.1445 < 21.1871°, Aceleracion: 9752039.0000 < 21.1871°
A. Coriolis: 4029407.7500 < -248.8129°

Fijo : 296.0000 < 9.4793°

KIMA 2.5, autor: Rony Perez Moreno <rony@fenix.uam.mx rony@correo.azc.uam.mx>
<http://fenix.uam.mx/rony>

Otro valor del angulo de entrada? [0=no,1=sil:
    
```

CUADRO 2

```

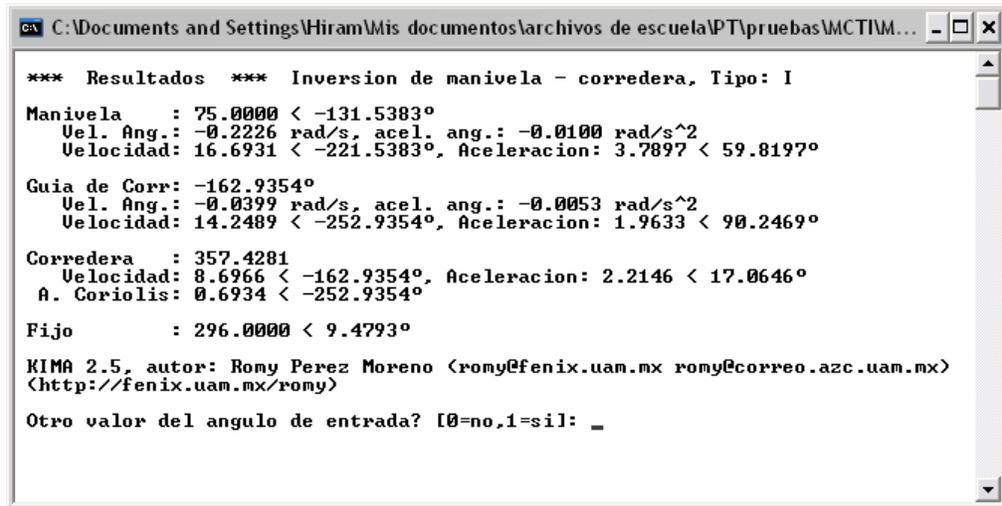
C:\Documents and Settings\Hiram\Mis documentos\archivos de escuela\PT\pruebas\MCTIVM...
*** Resultados *** Inversion de manivela - corredera, Tipo: I
Manivela : 75.0000 < -114.7724°
Vel. Ang.: -0.2183 rad/s, acel. ang.: 500.0000 rad/s^2
Velocidad: 16.3711 < -204.7724°, Aceleracion: 37500.0000 < -24.7669°
Guia de Corr: -160.1339°
Vel. Ang.: -0.0335 rad/s, acel. ang.: 76.6240 rad/s^2
Velocidad: 11.5028 < -250.1339°, Aceleracion: 26346.9062 < -70.1331°
Corredera : 343.8468
Velocidad: 11.6489 < -160.1339°, Aceleracion: 26685.4102 < 19.8661°
A. Coriolis: 0.7794 < -250.1339°
Fijo : 296.0000 < 9.4793°
KIMA 2.5, autor: Romy Perez Moreno <romy@fenix.uam.mx romy@correo.azc.uam.mx>
<http://fenix.uam.mx/romy>
Otro valor del angulo de entrada? [0=no,1=sil:
    
```

CUADRO 3

```

C:\Documents and Settings\Hiram\Mis documentos\archivos de escuela\PT\pruebas\MCTIVM...
*** Resultados *** Inversion de manivela - corredera, Tipo: I
Manivela : 75.0000 < -125.1620°
Vel. Ang.: -0.2176 rad/s, acel. ang.: 0.0008 rad/s^2
Velocidad: 16.3199 < -215.1620°, Aceleracion: 3.5517 < 53.8479°
Guia de Corr: -161.8198°
Vel. Ang.: -0.0371 rad/s, acel. ang.: -0.0038 rad/s^2
Velocidad: 13.0921 < -251.8198°, Aceleracion: 1.4326 < 88.3545°
Corredera : 352.7596
Velocidad: 9.7436 < -161.8198°, Aceleracion: 2.3996 < 18.1802°
A. Coriolis: 0.7232 < -251.8198°
Fijo : 296.0000 < 9.4793°
KIMA 2.5, autor: Romy Perez Moreno <romy@fenix.uam.mx romy@correo.azc.uam.mx>
<http://fenix.uam.mx/romy>
Otro valor del angulo de entrada? [0=no,1=sil:
    
```

CUADRO 4



4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos mediante el método propuesto por las prácticas, fueron comparados con los calculados por KIMA®, así, empleando la ecuación 25, se determinó el porcentaje de error en el movimiento de los eslabones durante su registro.

$$\%error = \left(\frac{valor_{teórico} - valor_{experimental}}{valor_{teórico}} \right) \times 100\% \tag{25}$$

4.2.1 MECANISMO RRRR

Cuadro	Variable	Resultado Experimental	Resultado KIMA	Unidades	% error
1	θ3	-23.8857	-23.8511	°	0.1450667
2	θ4	-117.9109	-118.0755	°	0.1394023
2	ω3	-0.0238183	-0.0322	rad/s	26.030038
3	ω4	-0.0882244	-0.0839	rad/s	5.1542072
4	α3	-0.0050923	-0.0042	rad/s ²	21.244407
4	α4	0.01598044	0.0166	rad/s ²	3.7322742

Tabla 15 Porcentajes de error en mediciones del mecanismo RRRR

4.2.2 MECANISMO RRRP

Cuadro	Variable	Resultado Experimental	Resultado KIMA	Unidades	% error
1	θ_3	20.0339	19.9544	°	0.3984084
2	r_4	263.6754	262.882	mm	0.3018084
2	ω_3	0.06608949	0.0639	rad/s	3.4264265
3	V_4	-7.5328846	-8.7638	mm/s	14.045453
4	α_3	-0.0058102	-0.0062	rad/s ²	6.286335
4	a_4	-4.2664273	-2.934	mm/s ²	45.413336

Tabla 16 Porcentajes de error en mediciones del mecanismo RRRP

4.2.3 MECANISMO RRPR

Cuadro	Variable	Experimento	KIMA	Unidades	% error
1	θ_4	-158.747	-158.8249	°	0.0490477
2	r_4	343.7787	343.8743	°	0.0278009
2	ω_4	-0.031652	-0.0332	rad/s	4.6640181
3	V_4	10.74024	9.7182	rad/s	10.516762
3	α_4	-0.004651	-0.0048	rad/s ²	3.1080466
3	a_4	-2.051712	-2.341	rad/s ²	12.357454
4	a coriolis	-0.734428	-0.6827	rad/s ²	7.5770324

Tabla 17 Porcentajes de error en mediciones del mecanismo RRPR

CONCLUSIONES

La longitud de los mecanismos didácticos elaborados tiene la característica de ser variable dentro de un intervalo del 20% y permitir que sus juntas sean ubicadas siempre dentro de un área de trabajo determinada.

Los resultados del análisis aplicado a los tres mecanismos muestran en su mayoría el porcentaje de error menor al 10% esperado, tanto en la posición, como en la velocidad y aceleración de sus eslabones. En algunas velocidades y aceleraciones de los mecanismos RRRR y RRRP, el porcentaje de error se ubicó entre el 15 y el 30%, llegando a tener un valor máximo del 41.4333% en la aceleración de la corredera del mecanismo RRRP.

El diseño y la calidad de la manufactura de los mecanismos, lograron reducir considerablemente la desviación o error que se había obtenido empleando modelos los desarrollados con anterioridad a este proyecto.

Durante las pruebas realizadas se encontraron dos factores que influyeron en las desviaciones mayores al 10% y que no estaban relacionadas con la manufactura de los prototipos.

1. Es necesario un instrumento de medición con mayor exactitud para determinar las longitudes de los eslabones, como un vernier con puntas de medición tales que tuvieran la posibilidad de ubicarse fácilmente en los barrenos que se maquinaron como indicadores del centro de las juntas.

2. Condiciones ideales de iluminación. La iluminación debe ser perpendicular a la base de los mecanismos para eliminar líneas de luz causadas por la iluminación lateral, y una ubicación de la cámara que garantizara el paralelismo entre el plano de su lente y la base de los mecanismos.

Las primera de las causas arriba mencionadas fue determinada en base a resultados que arrojaban errores máximos menores al 25% en pruebas realizadas sustituyendo en los cálculos las longitudes medidas físicamente (con precisión de 1mm) sobre los eslabones por aquellas obtenidas empleando en AutoCAD® (con precisión de 0.001mm).

Al analizar los resultados de un experimento realizado ubicando a un mecanismo de lado a la luz del sol que entraba por una ventana, se obtuvieron porcentajes de error mayores al 200% en las velocidades y aceleraciones obtenidas, por lo que fue necesario repetir dicho experimento utilizando lámparas de fotografía alumbrando casi perpendicularmente la base del mecanismo para evitar líneas de luz (sombras).

Otra medida implementada para evitar líneas de luz en el mecanismo, fue pintar sus juntas de color amarillo mate, y de color blanco una parte del área que las rodea para crear un contraste.

Un problema ocurrido durante la manufactura del proyecto, fue la ruptura de varios cortadores “cola de milano” de acero alta velocidad mientras se trabajaba en la fresadora C.N.C., provocada por su baja velocidad de corte. Éste problema se eliminó cambiando al uso de fresadora convencional, la cual tiene más potencia que la fresadora C.N.C.

Apéndice A

APÉNDICE A PROGRAMA DE MAQUINADO C.N.C. PARA MANIVELA DE MECANISMO RRRR Y TAPA DE ESLABONES

CONTENIDO:

A1 Maquinado de contorno de manivela	121
A2 Maquinado de barreno para balero, canal tope de junta y guía cola de milano de manivela	124
A3 Maquinado de contorno de tapa de eslabones	128
A4 Maquinado de guía cola de milano de tapa de eslabones	130

El maquinado cada uno de los eslabones fue dividido en dos partes por no contar con el equipo necesario para un maquinado de una sola sesión. Primeramente se maquinó el contorno de los eslabones y posteriormente los demás cortes.

A1 MAQUINADO DE CONTORNO DE MANIVELA

N	G	X	Y	Z	F
	(M)	(I) (D)	(J) (S)	(K)	(L) (T) (H)
0	90				
1	92	500	-500	500	
2	M06	150	1500	0	
3	M03				
4	00	500	-500	0	
5	00	0	0	0	
6	00	0	0	-100	
7	01	-1217	0	-100	30
8	02	-1517	300	-100	30
9	01	-1517	500	-100	30
10	01	-4591	500	-100	30
11	02	-6140	0	-100	30
12	M99	1549	2150	-100	30
13	02	-8790	2650	-100	30
14	02	-6140	5300	-100	30
15	02	-4591	4800	-100	30
16	M99	0	2650	-100	30
17	01	-1517	4800	-100	30
18	01	-1517	5000	-100	30
19	02	-1217	5300	-100	30
20	01	0	5300	-100	30
21	01	0	0	-100	30

22	00	0	0	-200	
23	01	-1217	0	-200	30
24	02	-1517	300	-200	30
25	01	-1517	500	-200	30
26	01	-4591	500	-200	30
27	02	-6140	0	-200	30
28	M99	1549	2150	-200	30
29	02	-8790	2650	-200	30
30	02	-6140	5300	-200	30
31	02	-4591	4800	-200	30
32	M99	0	2650	-200	30
33	01	-1517	4800	-200	30
34	01	-1517	5000	-200	30
35	02	-1217	5300	-200	30
36	01	0	5300	-200	30
37	01	0	0	-200	30
38	00	0	0	-300	
39	01	-1217	0	-300	30
40	02	-1517	300	-300	30
41	01	-1517	500	-300	30
42	01	-4591	500	-300	30
43	02	-6140	0	-300	30
44	M99	1549	2150	-300	30
45	02	-8790	2650	-300	30
46	02	-6140	5300	-300	30
47	02	-4591	4800	-300	30
48	M99	0	2650	-300	30
49	01	-1517	4800	-300	30
50	01	-1517	5000	-300	30
51	02	-1217	5300	-300	30
52	01	0	5300	-300	30
53	01	0	0	-300	30
54	00	0	0	-400	
55	01	-1217	0	-400	30
56	02	-1517	300	-400	30
57	01	-1517	500	-400	30
58	01	-4591	500	-400	30

59	02	-6140	0	-400	30
60	M99	1549	2150	-400	30
61	02	-8790	2650	-400	30
62	02	-6140	5300	-400	30
63	02	-4591	4800	-400	30
64	M99	0	2650	-400	30
65	01	-1517	4800	-400	30
66	01	-1517	5000	-400	30
67	02	-1217	5300	-400	30
68	01	0	5300	-400	30
69	01	0	0	-400	30
70	00	0	0	-500	
71	01	-1217	0	-500	30
72	02	-1517	300	-500	30
73	01	-1517	500	-500	30
74	01	-4591	500	-500	30
75	02	-6140	0	-500	30
76	M99	1549	2150	-500	30
77	02	-8790	2650	-500	30
78	02	-6140	5300	-500	30
79	02	-4591	4800	-500	30
80	M99	0	2650	-500	30
81	01	-1517	4800	-500	30
82	01	-1517	5000	-500	30
83	02	-1217	5300	-500	30
84	01	0	5300	-500	30
85	01	0	0	-500	30
86	00	0	0	-640	
87	01	-1217	0	-640	30
88	02	-1517	300	-640	30
89	01	-1517	500	-640	30
90	01	-4591	500	-640	30
91	02	-6140	0	-640	30
92	M99	1549	2150	-640	30
93	02	-8790	2650	-640	30
94	02	-6140	5300	-640	30
95	02	-4591	4800	-640	30

96	M99	0	2650	-640	30
97	01	-1517	4800	-640	30
98	01	-1517	5000	-640	30
99	02	-1217	5300	-640	30
100	01	0	5300	-640	30
101	01	0	0	-640	30
102	00	500	-500	-640	
103	00	500	-500	500	
104	M30				

**A2 MAQUINADO DE BARRENO PARA BALERO, CANAL TOPE
DE JUNTA Y GUÍA COLA DE MILANO DE MANIVELA**

N	G	X	Y	Z	F
	(M)	(I) (D)	(J) (S)	(K)	(L) (T) (H)
0	90				
1	92	500	-500	500	
2	M06	150	1500	0	0
3	M03				
4	00	-6140	2650	500	
5	01	-6140	2650	-100	30
6	01	-5019	2650	-100	30
7	02	-6140	1529	-100	30
8	02	-7261	2650	-100	30
9	02	-7100	3229	-100	30
10	M99	1121	0		30
11	01	-5180	3229		30
12	02	-5019	2650	-100	30
13	M99	960	579		30
14	01	-5019	2650	-200	30
15	02	-6140	1529	-200	30
16	02	-7261	2650	-200	30
17	02	-7100	3229	-200	30
18	M99	1121	0		30
19	01	-5180	3229	-200	30
20	02	-5019	2650	-200	30

21	M99	960	579		30
22	01	-5019	2650	-300	30
23	02	-6140	1529	-300	30
24	02	-7261	2650	-300	30
25	02	-7100	3229	-300	30
26	M99	1121	0		
27	01	-5180	3229	-300	30
28	02	-5019	2650	-300	30
29	M99	960	579		
30	01	-5019	2650	-400	30
31	02	-6140	1529	-400	30
32	02	-7261	2650	-400	30
33	02	-7100	3229	-400	30
34	M99	1121	0		
35	01	-5180	3229	-400	30
36	02	-5019	2650	-400	30
37	M99	960	579		
38	01	-5019	2650	-500	30
39	02	-6140	1529	-500	30
40	02	-7261	2650	-500	30
41	02	-7100	3229	-500	30
42	M99	1121	0		30
43	01	-5180	3229	-500	30
44	02	-5019	2650	-500	30
45	M99	960	579		
46	01	-5019	2650	-640	30
47	02	-6140	1529	-640	30
48	02	-7261	2650	-640	30
49	02	-7100	3229	-640	30
50	M99	1121	0		
51	01	-5180	3229	-640	30
52	02	-5019	2650	-640	30
53	M99	960	579		
54	00	-5019	2650	4200	
55	00	300	3450	4200	
56	M05				
57	M06	300	1500	404	0
58	M00				
59	M03				
60	00	300	3450	0	

61	01	300	3450	-250	75
62	01	-3640	3450	-250	75
63	01	-3640	3050	-250	75
64	01	300	3050	-250	75
65	01	300	2650	-250	75
66	01	-3640	2650	-250	75
67	01	-3640	2250	-250	75
68	01	300	2250	-250	75
69	01	300	1850	-250	75
70	01	-3640	1850	-250	75
71	00	300	3450	-250	
72	01	300	3450	-300	50
73	01	-3640	3450	-300	50
74	01	-3640	3050	-300	50
75	01	300	3050	-300	50
76	01	300	2650	-300	50
77	01	-3640	2650	-300	50
78	01	-3640	2250	-300	50
79	01	300	2250	-300	50
80	01	300	1850	-300	50
81	01	-3640	1850	-300	50
82	00	300	2835	-300	
83	01	300	2835	-640	75
84	01	-2130	2835	-640	75
85	01	-2130	2465	-640	75
86	01	300	2465	-640	75
87	00	300	2465	4200	
88	00	0	3800	4200	
89	M05				
90	M06	150	1500	0	0
91	M00				
92	M03				
93	00	0	3800	0	
94	01	0	3800	-100	30
95	01	-3990	3800	-100	30
96	01	-3990	1500	-100	30
97	01	0	1500	-100	30
98	00	0	3800	-100	
99	01	0	3800	-200	30
100	01	-3990	3800	-200	30

101	01	-3990	1500	-200	30
102	01	0	1500	-200	30
103	00	0	3800	-200	
104	01	0	3800	-300	30
105	01	-3990	3800	-300	30
106	01	-3990	1500	-300	30
107	01	0	1500	-300	30
108	00	0	3135	-300	
109	01	0	3135	-400	30
110	01	-2130	3135	-400	30
111	03	-2615	2650	-400	30
112	03	-2130	2165	-400	30
113	01	0	2165	-400	30
114	00	0	3135	-400	
115	01	0	3135	-500	30
116	01	-2130	3135	-500	30
117	03	-2615	2650	-500	30
118	03	-2130	2165	-500	30
119	01	0	2165	-500	30
120	00	0	3135	-500	
121	01	0	3135	-640	30
122	01	-2130	3135	-640	30
123	03	-2615	2650	-640	30
124	03	-2130	2165	-640	30
125	01	0	2165	-640	30
126	00	0	2165	4200	
127	00	565	3574	4200	
128	M05				
129	M06	476	1500	0	0
130	M00				
131	M03				
132	00	565	3574	-300	
133	01	-3964	3574	-300	10
134	01	565	3574	-300	20
135	00	565	3674	-300	
136	01	-3964	3674	-300	10
137	01	565	3674	-300	20
138	00	565	3774	-300	
139	01	-3964	3774	-300	10
140	01	565	3774	-300	20

141	00	565	1726	-300	
142	01	-3964	1726	-300	10
143	01	565	1726	-300	20
144	00	565	1626	-300	
145	01	-3964	1626	-300	10
146	01	565	1626	-300	20
147	00	565	1526	-300	
148	01	-3964	1526	-300	10
149	01	565	1526	-300	20
150	01	-3764	1526	-300	20
151	01	-3764	3774	-300	10
152	01	-3764	1526	-300	10
153	01	-3864	1526	-300	10
154	01	-3864	3774	-300	10
155	01	-3864	1526	-300	10
156	01	-3964	1526	-300	10
157	01	-3964	3774	-300	10
158	01	-3964	1526	-300	10
159	01	565	1526	-300	20
160	00	565	1526	4200	
161	00	500	-500	4200	
162	M30				

A3 MAQUINADO DE CONTORNO DE TAPA DE ESLABONES

N	G	X	Y	Z	F
	(M)	(I) (D)	(J) (S)	(K)	(L) (T) (H)
0	90				
1	92	500	-500	500	
2	M06	150	1500		
3	M03				
4	00	500	-500	0	
5	00	0	0	0	
6	00	0	0	-100	
7	01	-800	0	-100	30
8	01	-800	500	-100	30

9	01	-3300	500	-100	30
10	01	-3300	4800	-100	30
11	01	-800	4800	-100	30
12	01	-800	5300	-100	
13	01	0	5300	-100	30
14	01	0	0	-100	30
15	00	0	0	-200	
16	01	-800	0	-200	30
17	01	-800	500	-200	30
18	01	-3300	500	-200	30
19	01	-3300	4800	-200	30
20	01	-800	4800	-200	30
21	01	-800	5300	-200	
22	01	0	5300	-200	30
23	01	0	0	-200	30
24	00	0	0	-300	
25	01	-800	0	-300	30
26	01	-800	500	-300	30
27	01	-3300	500	-300	30
28	01	-3300	4800	-300	30
29	01	-800	4800	-300	30
30	01	-800	5300	-300	30
31	01	0	5300	-300	30
32	01	0	0	-300	30
33	00	0	0	-400	
34	01	-800	0	-400	30
35	01	-800	500	-400	30
36	01	-3300	500	-400	30
37	01	-3300	4800	-400	30
38	01	-800	4800	-400	30
39	01	-800	5300	-400	30
40	01	0	5300	-400	30
41	01	0	0	-400	30
42	00	0	0	-500	
43	01	-800	0	-500	30
44	01	-800	500	-500	30

45	01	-3300	500	-500	30
46	01	-3300	4800	-500	30
47	01	-800	4800	-500	30
48	01	-800	5300	-500	30
49	01	0	5300	-500	30
50	01	0	0	-500	30
51	00	0	0	-640	
52	01	-800	0	-640	30
53	01	-800	500	-640	30
54	01	-3300	500	-640	30
55	01	-3300	4800	-640	30
56	01	-800	4800	-640	30
57	01	-800	5300	-640	30
58	01	0	5300	-640	30
59	01	0	0	-640	30
60	00	0	0	500	
61	00	500	-500	500	
62	M30				

A4 MAQUINADO DE GUÍA COLA DE MILANO

DE TAPA DE ESLABONES

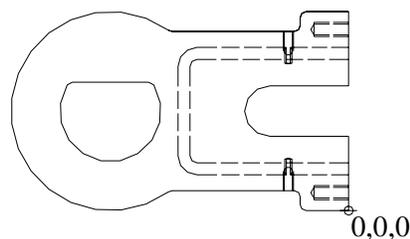
N	G	X	Y	Z	F
	(M)	(I) (D)	(J) (S)	(K)	(L) (T) (H)
0	90				
1	92	500	-500	500	
2	M06	300	1500	0	0
3	M03				
4	00	300	3450	500	
5	00	300	3450	0	
6	01	300	3450	-250	75
7	01	-1387	3450	-250	75
8	01	-1387	3050	-250	75
9	01	300	3050	-250	75

10	01	300	2650	-250	75
11	01	-1387	2650	-250	75
12	01	-1387	2250	-250	75
13	01	300	2250	-250	75
14	01	300	1850	-250	75
15	01	-1387	1850	-250	75
16	00	300	3450	-250	
17	01	300	3450	-300	50
18	01	-1387	3450	-300	50
19	01	-1387	3050	-300	50
20	01	300	3050	-300	50
21	01	300	2650	-300	50
22	01	-1387	2650	-300	50
23	01	-1387	2250	-300	50
24	01	300	2250	-300	50
25	01	300	1850	-300	50
26	01	-1387	1850	-300	50
27	00	300	2835	-300	
28	01	300	2835	-640	75
29	01	-150	2835	-640	75
30	01	-150	2465	-640	75
31	01	300	2465	-640	75
32	00	300	2465	4200	
33	00	0	3800	4200	
34	M05				
35	M06	150	1500	1700	0
36	M00				
37	M03				
38	00	0	3800	0	
39	01	0	3800	-100	30
40	01	-1731	3800	-100	30
41	01	-1731	1500	-100	30
42	01	0	1500	-100	30
43	00	0	3800	-100	
44	01	0	3800	-200	30
45	01	-1731	3800	-200	30

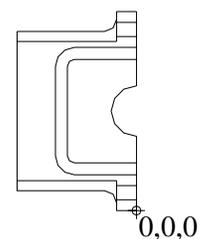
46	01	-1731	1500	-200	30
47	01	0	1500	-200	30
48	00	0	3800	-200	
49	01	0	3800	-300	30
50	01	-1731	3800	-300	30
51	01	-1731	1500	-300	30
52	01	0	1500	-300	30
53	00	0	3135	-300	
54	01	0	3135	-400	30
55	01	-150	3135	-400	30
56	03	-635	2650	-400	30
57	03	-150	2165	-400	30
58	01	0	2165	-400	30
59	00	0	3135	-400	
60	01	0	3135	-500	30
61	01	-150	3135	-500	30
62	03	-635	2650	-500	30
63	03	-150	2165	-500	30
64	01	0	2165	-500	30
65	00	0	3135	-500	
66	01	0	3135	-640	30
67	01	-150	3135	-640	30
68	03	-635	2650	-640	30
69	03	-150	2165	-640	30
70	01	0	2165	-640	30
71	00	0	2165	4200	
72	00	565	3574	4200	
73	M05				
74	M06	476	1500	1235	0
75	M00				
76	M03				
77	00	565	3574	-300	
78	01	-1711	3574	-300	10
79	01	565	3574	-300	20
80	00	565	3674	-300	
81	01	-1711	3674	-300	10

82	01	565	3674	-300	20
83	00	565	3774	-300	
84	01	-1711	3774	-300	10
85	01	565	3774	-300	20
86	00	565	1726	-300	
87	01	-1711	1726	-300	10
88	01	565	1726	-300	20
89	00	565	1626	-300	
90	01	-1711	1626	-300	10
91	01	565	1626	-300	20
92	00	565	1526	-300	
93	01	-1711	1526	-300	10
94	01	-1511	1526	-300	20
95	01	-1511	3774	-300	10
96	01	-1511	1526	-300	10
97	01	-1611	1526	-300	10
98	01	-1611	3774	-300	10
99	01	-1611	1526	-300	10
100	01	-1711	1526	-300	10
101	01	-1711	3774	-300	10
102	01	-1711	1526	-300	10
103	01	565	1526	-300	20
104	00	565	1526	4200	
105	00	500	-500	4200	
106	M30				

NOTA: Los programas anteriores fueron creados considerando como coordenada (0,0,0) los siguientes puntos:



MANIVELA RRRR



TAPA DE ESLABONES

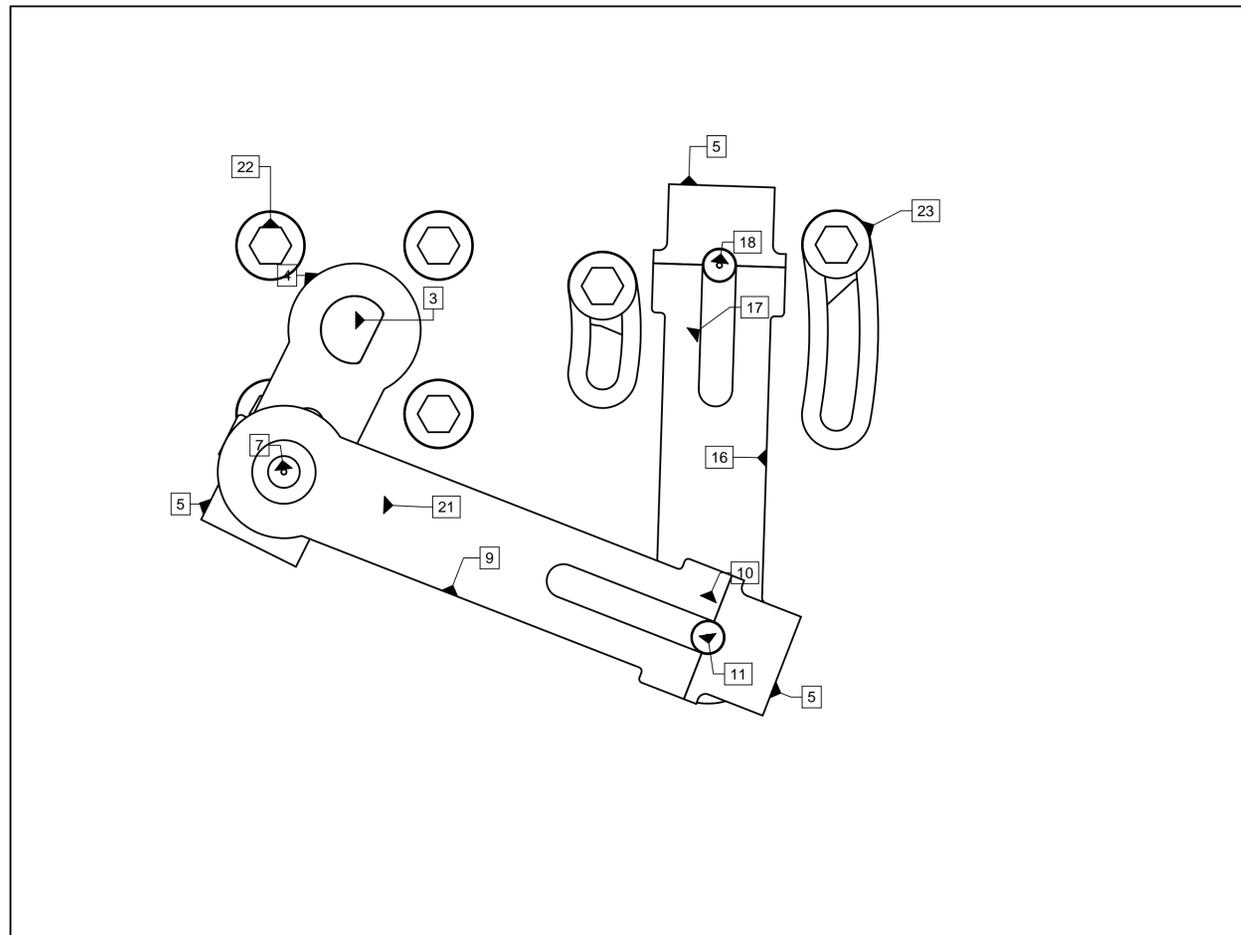
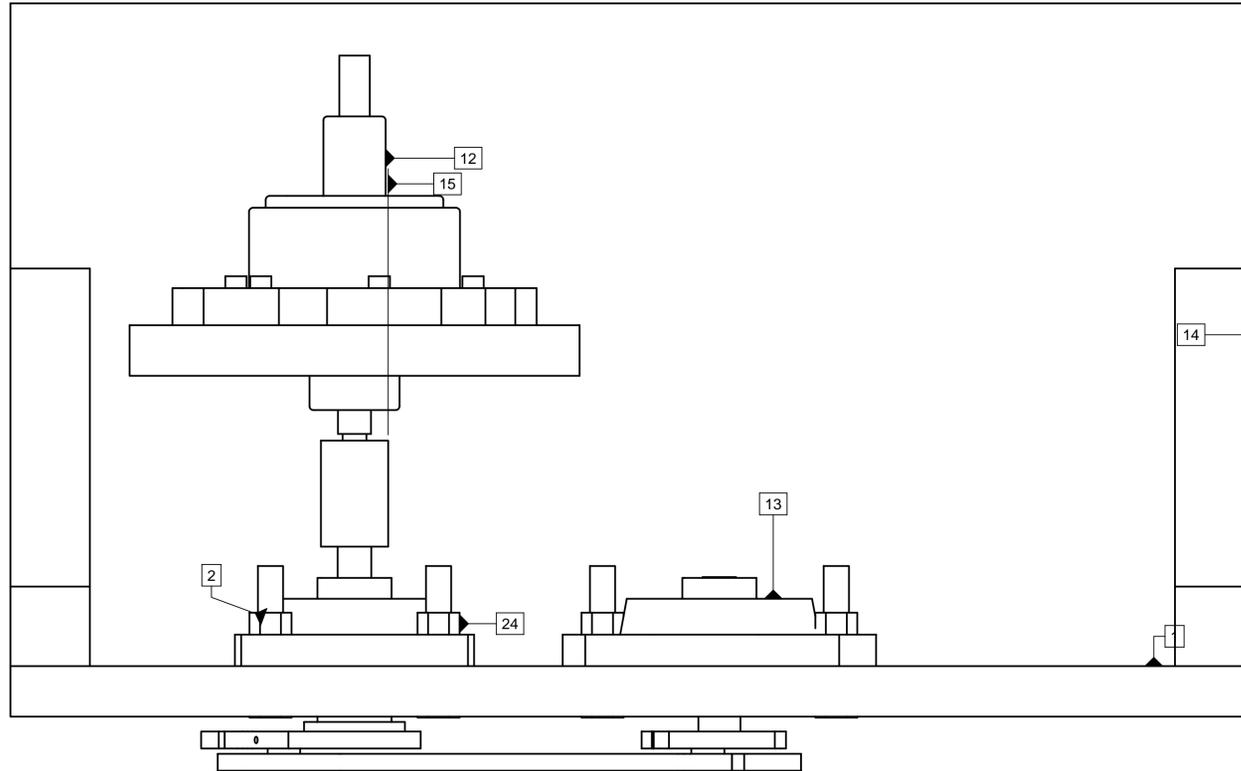
Apéndice B

APÉNDICE B DIBUJOS NORMALIZADOS

CONTENIDO:

A1.1.0.0	Ensamble de mecanismo RRRR	137
A1.1.1.0	Base de mecanismo RRRR	138
A1.1.2.0	Soporte de mecanismo	139
A1.1.3.0	Eje de transmisión	140
A1.1.4.0	Cople motor-eje	141
A1.1.5.0	Manivela para mecanismo RRRR y RRRP	142
A1.1.6.0	Acoplador para mecanismo RRRR	143
A1.1.7.0	Balancín para mecanismo RRRR	144
A1.1.8.0	Tapa de eslabones	145
A1.1.5.1	Junta de manivela para mecanismo RRRR y RRRP	146
A1.1.6.1	Junta de acoplador para mecanismo RRRP	147
A1.1.7.1	Junta de balancín para mecanismo RRRR	148
A1.1.5.2	Perno de junta de manivela para mecanismos RRRR y RRRP	149
A1.1.5.3	Perno de junta de balancín para mecanismo RRRR	150
A1.1.5.4	Perno de junta de acoplador para mecanismo RRRR	151
A1.2.0.0	Ensamble de mecanismo RRRP	152
A1.2.1.0	Base de mecanismo RRPR	153
A1.2.3.0	Acoplador de mecanismo RRPR	154
A1.2.3.1	Junta de acoplador para mecanismo RRRP	155
A1.2.3.2	Perno de junta de acoplador para mecanismo RRRP	156
A1.2.4.0	Junta de revoluta MC	157
A1.3.0.0	Ensamble de mecanismo RRPR	158
A1.3.1.0	Base de mecanismo RRPR	159
A1.3.2.0	Manivela para mecanismo RRPR	160
A1.3.2.1	Junta de manivela para mecanismo RRPR	161

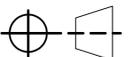
A1.3.2.2 Perno de junta de manivela para mecanismo RRPR	162
A1.3.3.1 Extremo guía lado manivela	163
A1.3.3.2 Extremo guía lado chumacera	164
A1.3.4.0 Eje de salida	165



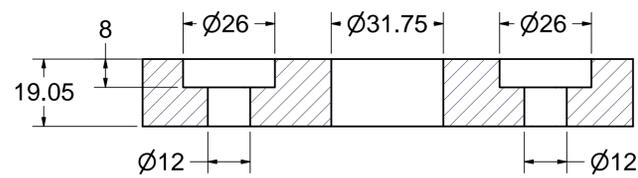
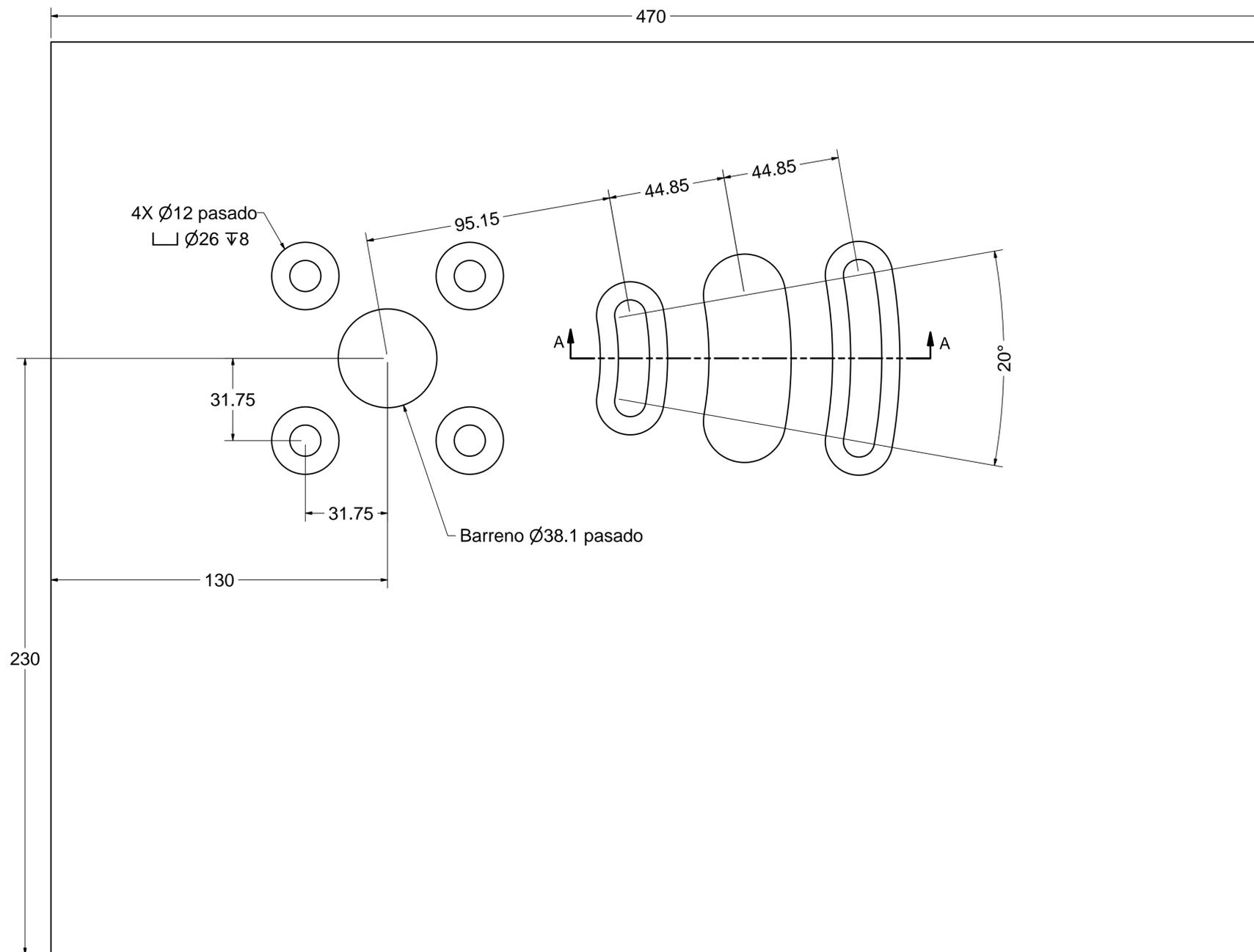
Lista de partes			
No.	CANTIDAD	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	1	base de mecanismo RRRR	
2	1	chumacera 1/2 inch., 4 barrenos	LKS mod.: NF-8, proveedor: rodamientos satélite, tels.:5398-9769 y 5362-7528
3	1	eje de transmisión	
4	1	manivela para mecanismo RRRR	
5	3	tapa de eslabones	
6	1	junta para manivela de mecanismo RRRR	
7	1	perno de junta de manivela para mecanismo RRRR	
9	1	acoplador para mecanismo RRRR	
10	1	junta para acoplador de mecanismo RRRR	
11	1	perno de junta de acoplador para mecanismo RRRR	
12	1	reductor de velocidad	transmisión de lavadora
13	1	chumacera 1/2 inch., 2 barrenos	LKS mod.: NFD-8, proveedor: rodamientos satélite, tels.:5398-9769 y 5362-7528
14	1	base de mesa	
15	1	acoplador motor-eje	
16	1	balancín para mecanismo RRRR	
17	1	junta para balancín de mecanismo RRRR	
18	1	perno de junta de balancín para mecanismo RRRR	
21	2	balero	NKS mod.: N-6901-2RS, proveedor: rodamientos satélite, tels.:5398-9769 y 5362-7528
22	6	tornillo 3/8-16UNC-2A	
23	6	rondana 3/8	
24	6	tuerca 3/8-16UNC-2B	
26	2	mensula	
27	1	base de transmisión MCTI	

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ENSAMBLE DE MECANISMO RRRR



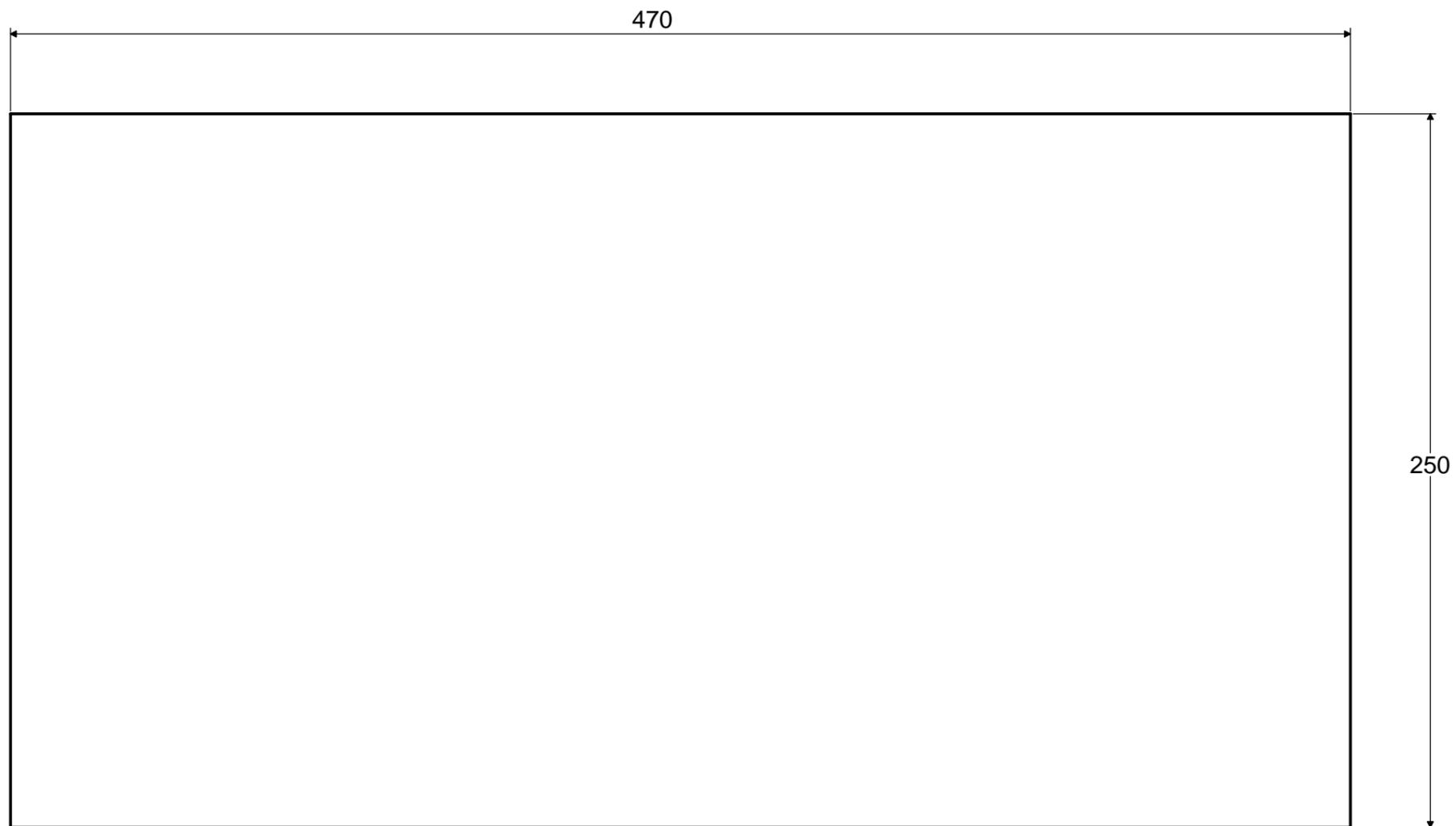
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Revisión: 0	Escala 0.75
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. 1.0.0	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	



CORTE
A-A

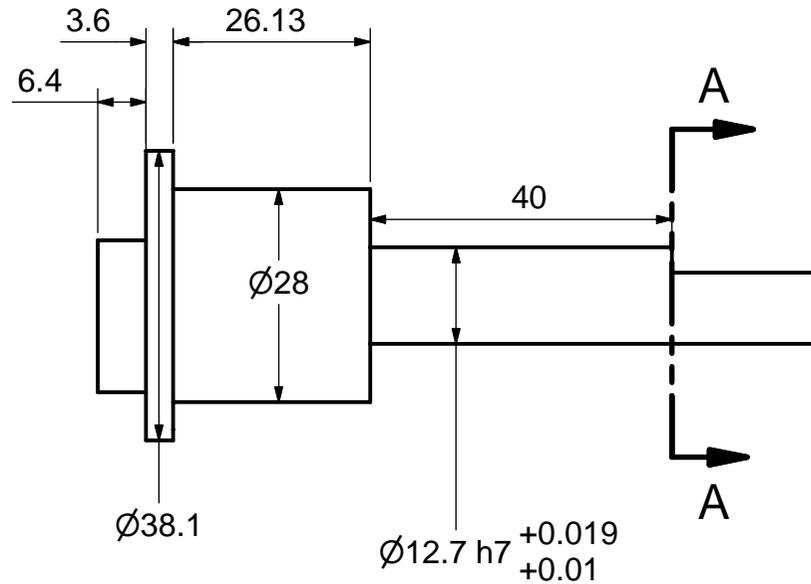
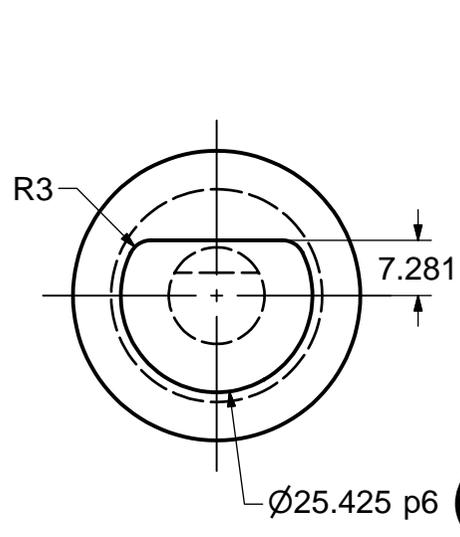
Tabla de 3/4 pulg. de espesor
Recubrimiento: Pintura acrílica color blanco

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: MDF	
BASE DE MECANISMO RRRR			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Revisión: 0	Escala 1:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.1.1.0	
		Hoja 1 de 1	



Material: Tabla espesor de 3/4 de pulg.
 Acabado superficial: ninguno

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: MDF	
SOPORTE DE MECANISMO			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy		Fecha y firma:	
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda		Fecha y firma:	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda		Fecha y firma:	
Ing. Romy Pérez Moreno		Revisión: 0	Escala: 1:2
		Acotaciones: mm	
		Dibujo No. A1.1.2.0	
		Hoja 1 de 1	



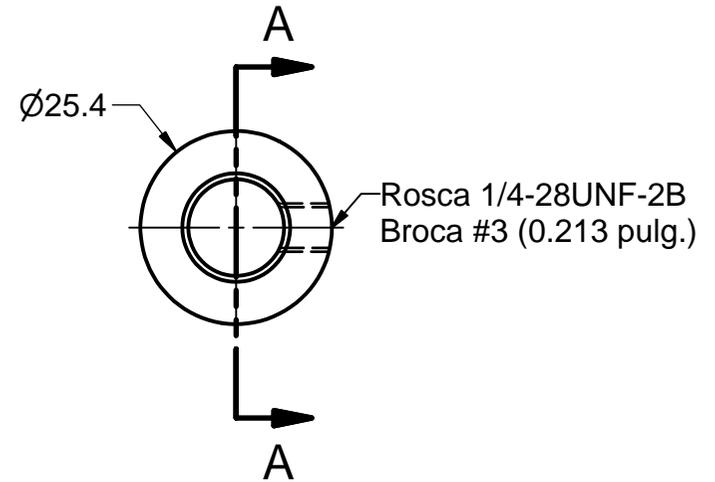
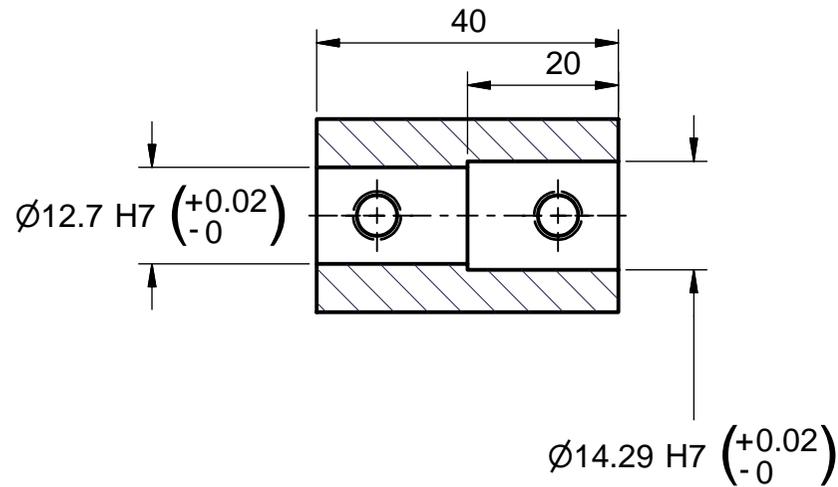
CORTE A-A



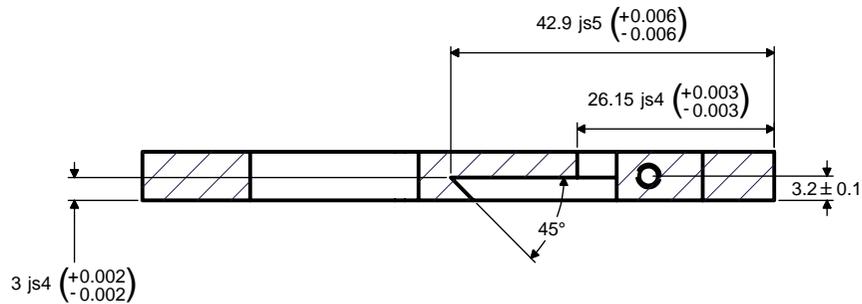
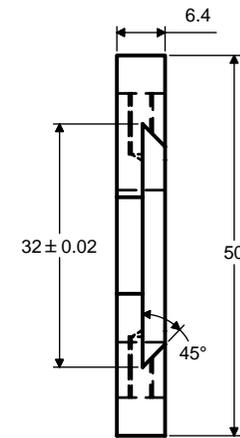
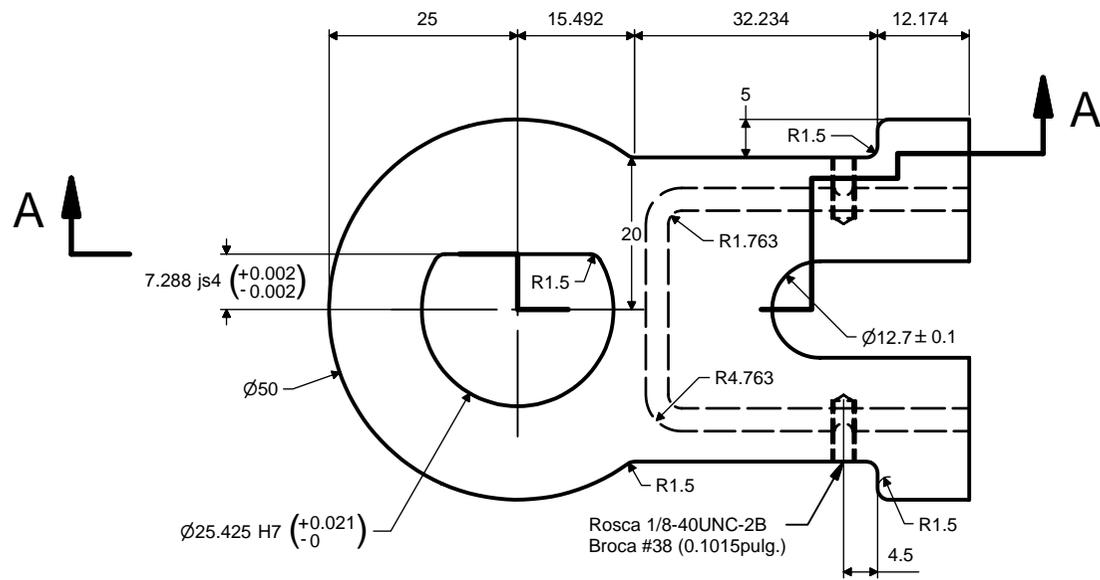
Cantidad: 3 piezas
Tolerancias no especificadas Js13 y js13.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Acero 1018 cold rolled	
EJE DE TRANSMISIÓN			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 1:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.1.3.0	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	

CORTE A-A

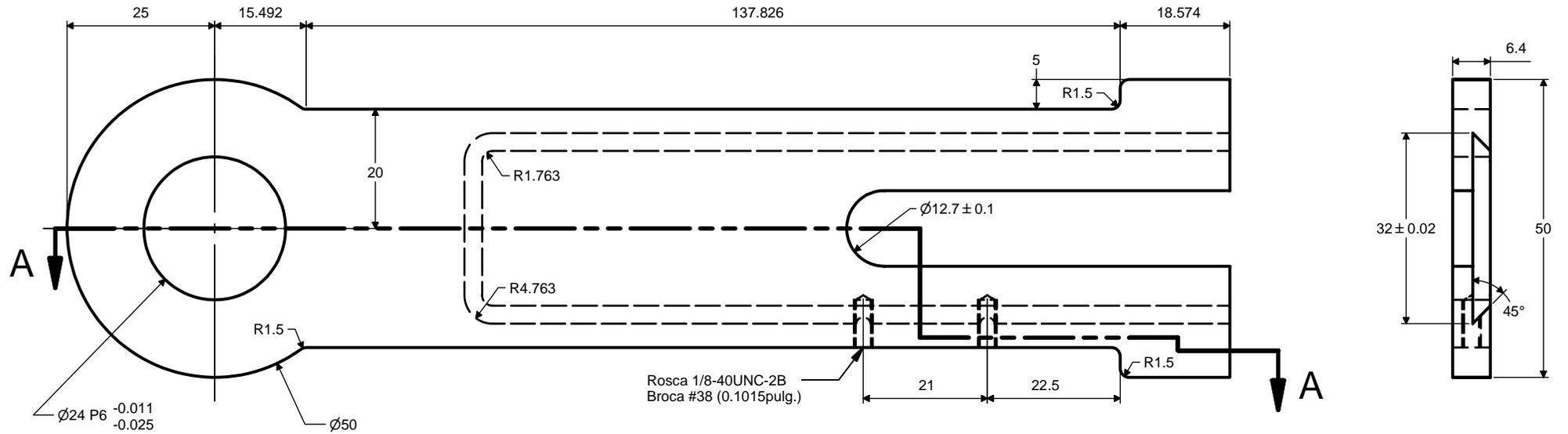


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Acero 1018 cold rolled	
COPLE MOTOR-EJE			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 1:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.1.4.0	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	



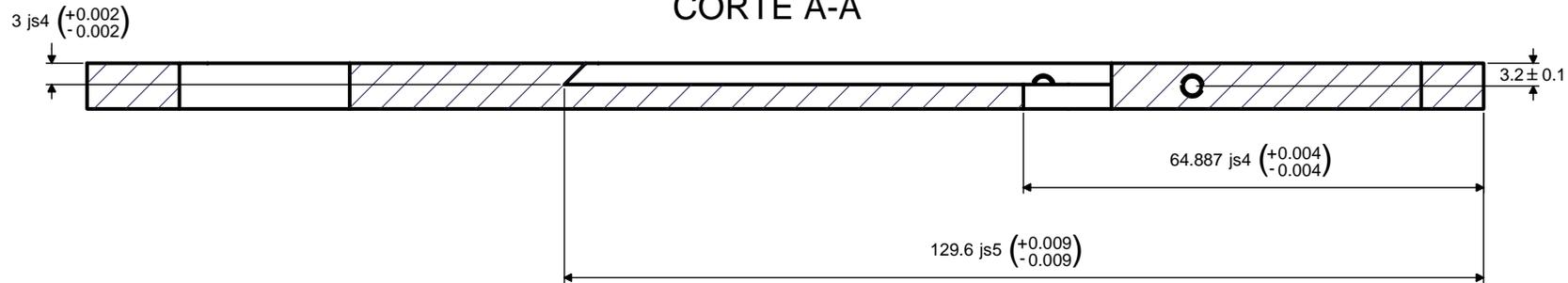
CORTE A-A

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio 6063-T5	
MANIVELA PARA MECANISMO RRRR Y RRPR			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 1:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.1.5.0	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	

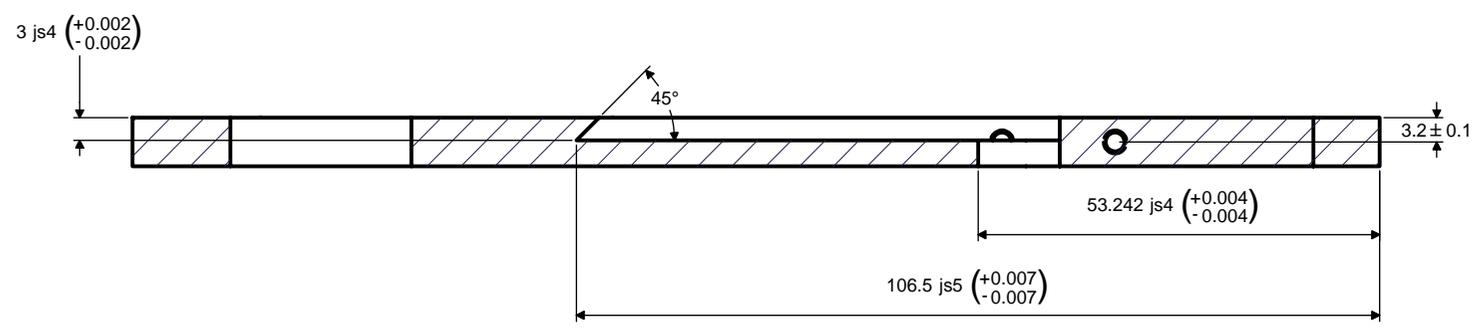
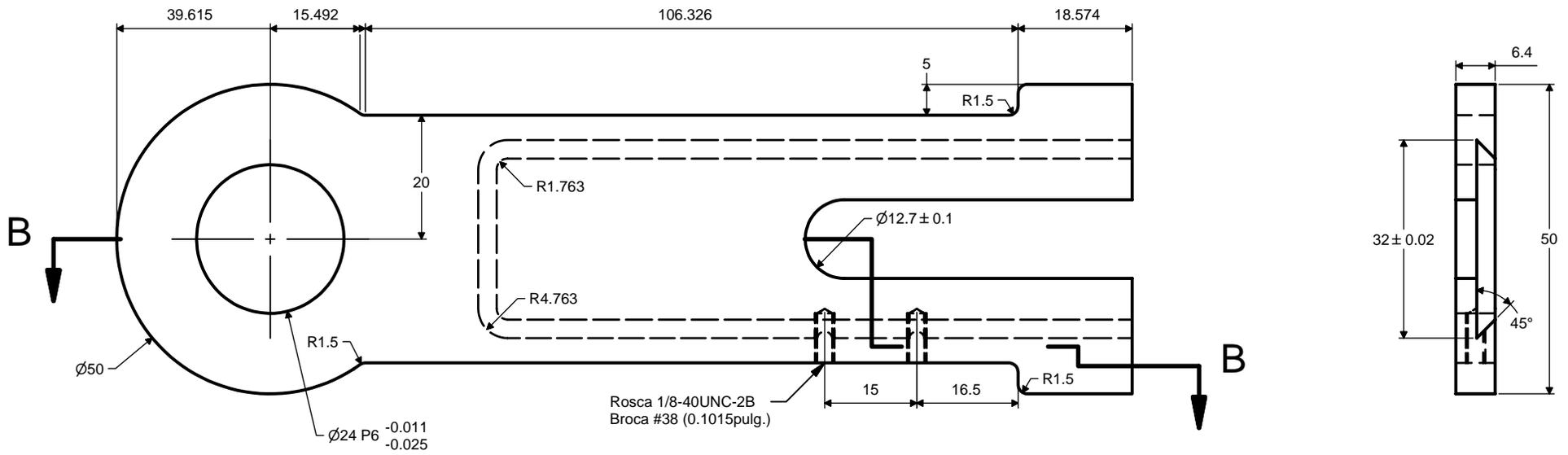


Rosca 1/8-40UNC-2B
Broca #38 (0.1015pulg.)

CORTE A-A

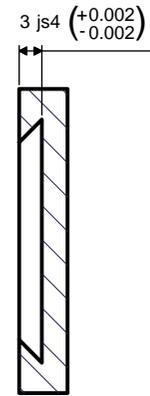
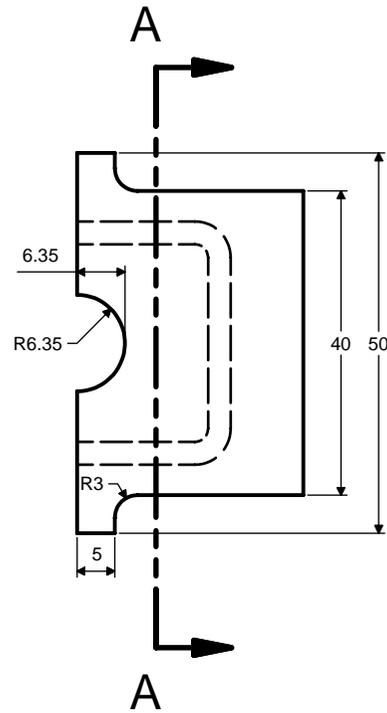
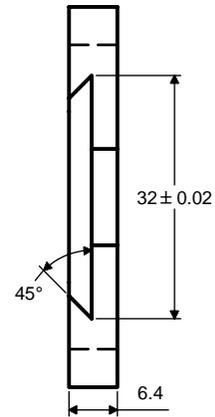


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio 6063-T5	
ACOPLADOR PARA MECANISMO RRRR			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 1:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.1.6.0	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	

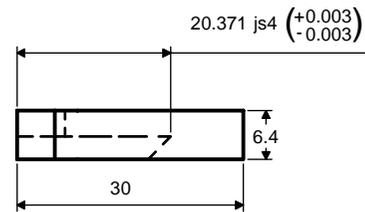


CORTE A-A

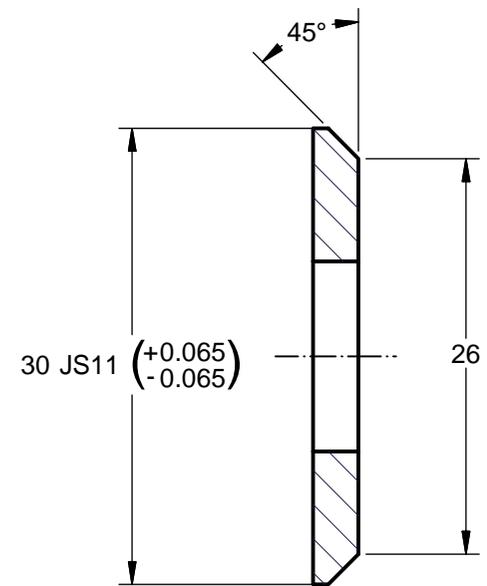
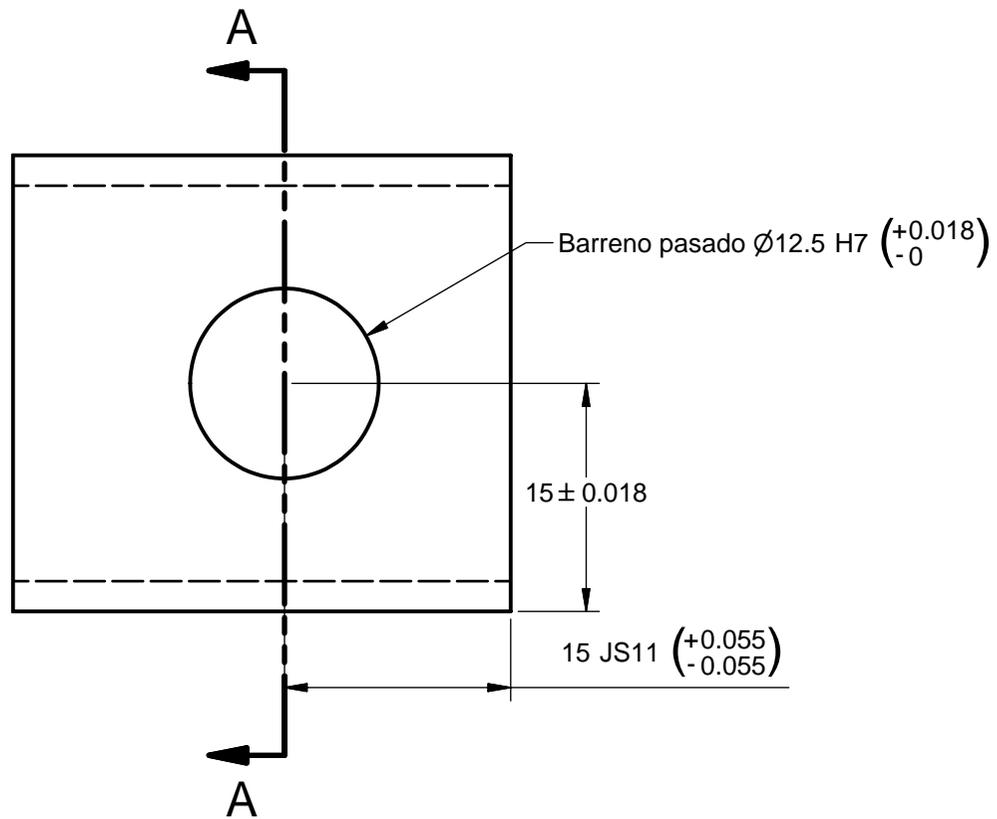
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio 6063-T5	
BALANCÍN PARA MECANISMO RRRR			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 1:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.1.7.0	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	



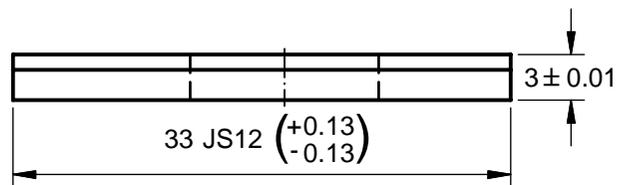
CORTE A-A



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio 6063-T5	
TAPA DE ESLABONES			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 1:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.1.8.0	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	

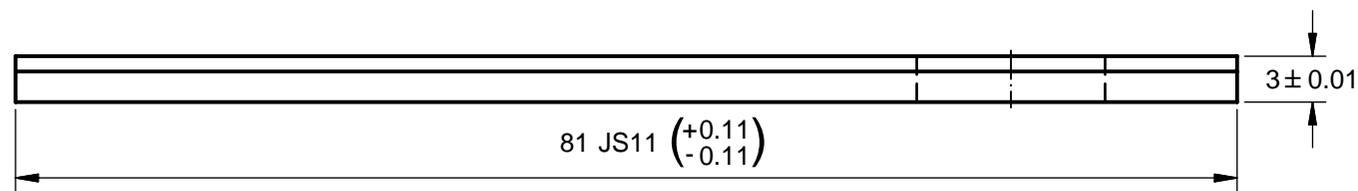
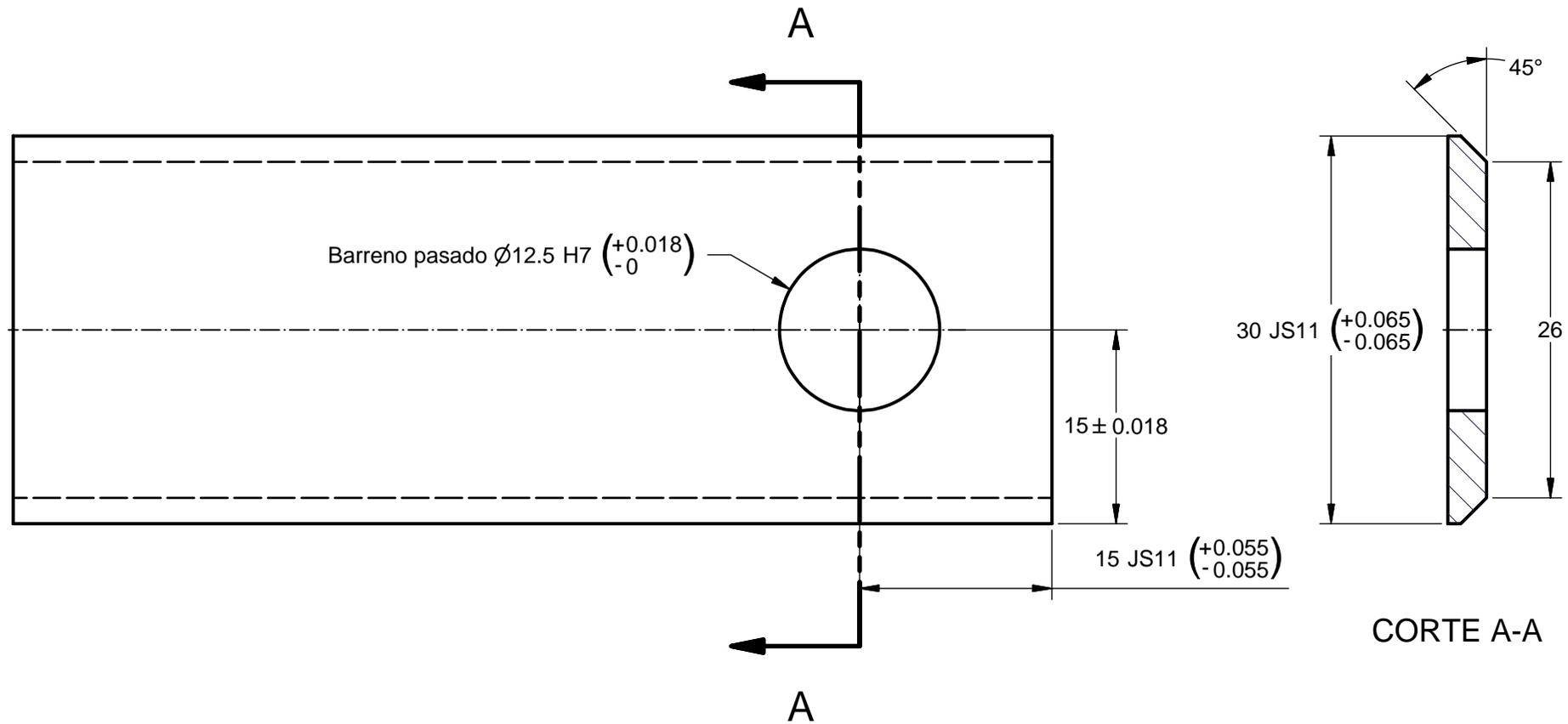


CORTE A-A



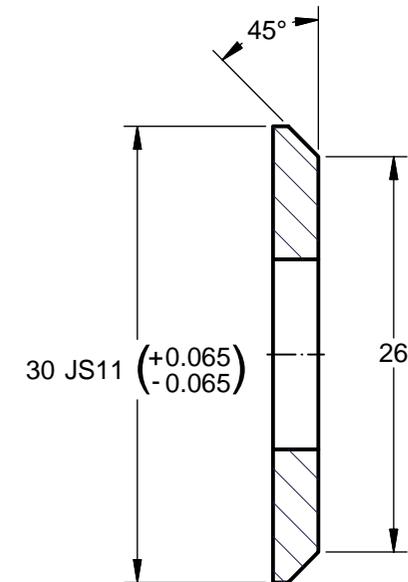
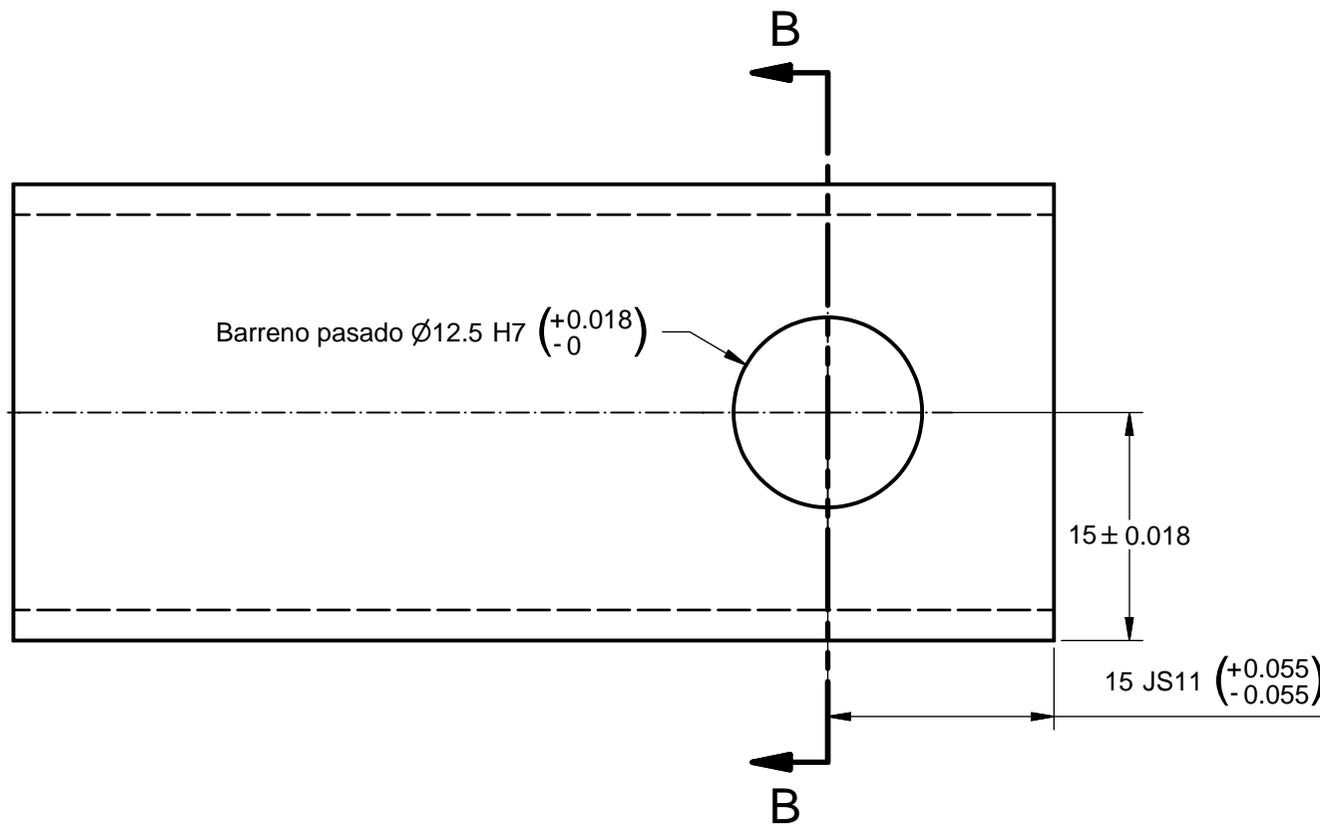
Cantidad: 1 pieza

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio	
JUNTA DE MANIVELA PARA MECANISMO RRRR y RRPR			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 2:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.1.5.1	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	

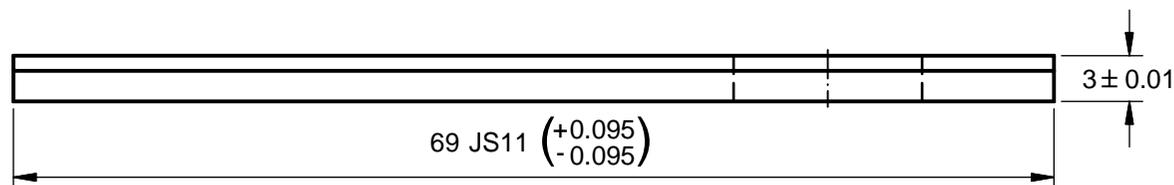


Cantidad: 1 pieza

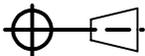
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio	
JUNTA DE ACOPLADOR PARA MECANISMO RRRR			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 2:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.1.6.1	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	

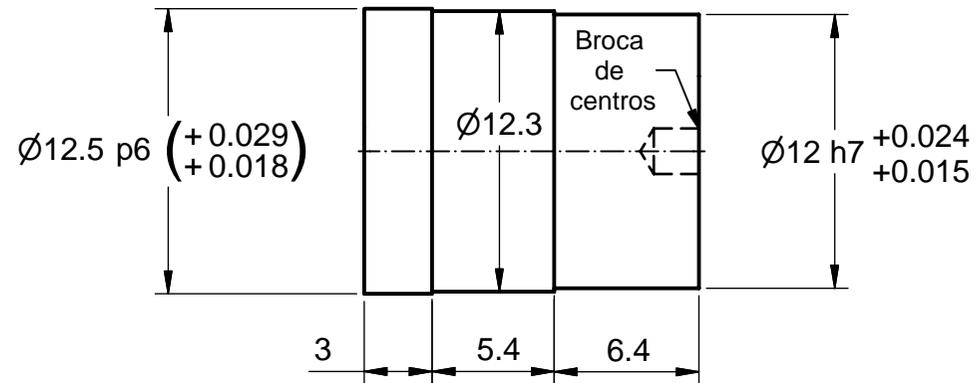


CORTE B-B



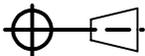
Cantidad: 1 pieza

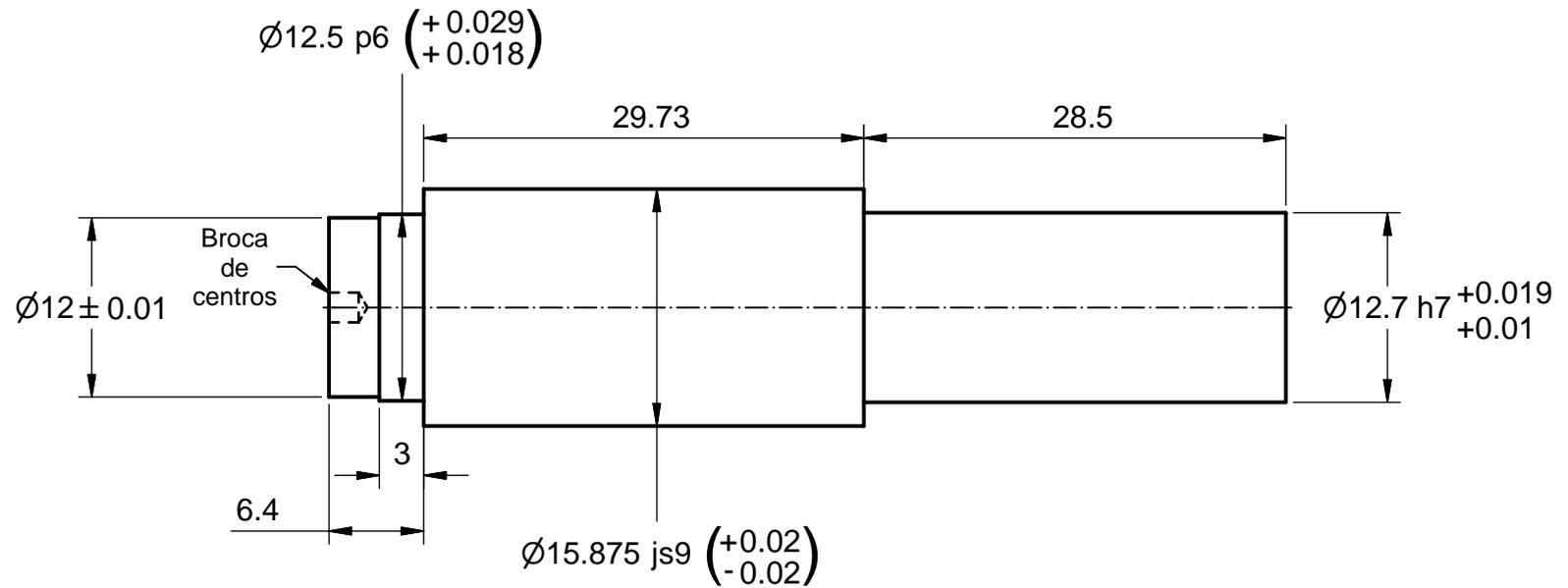
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio	
JUNTA DE BALANCÍN PARA MECANISMO RRRR			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 2:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.1.7.1	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	



Cantidad: 2 piezas
 Acabado superficial: Ninguno

Nota: Marcar broca de centros

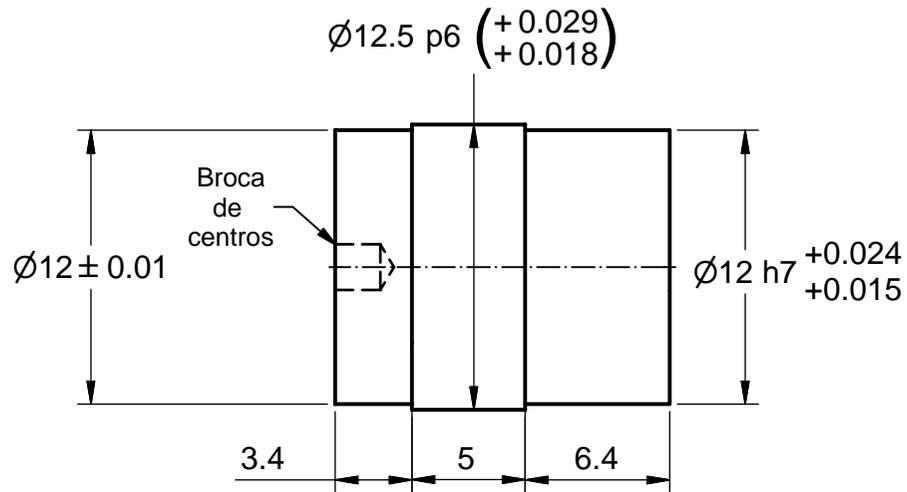
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio	
PERNO DE JUNTA DE MANIVELA PARA MECANISMOS RRRR Y RRPR			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 3:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.1.5.2	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	



Cantidad: 1 piezas
 Acabado superficial: Ninguno

Nota: Marcar broca de centros

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio	
PERNO DE JUNTA DE BALANCÍN PARA MECANISMO RRRR			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 3:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.1.5.3	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	

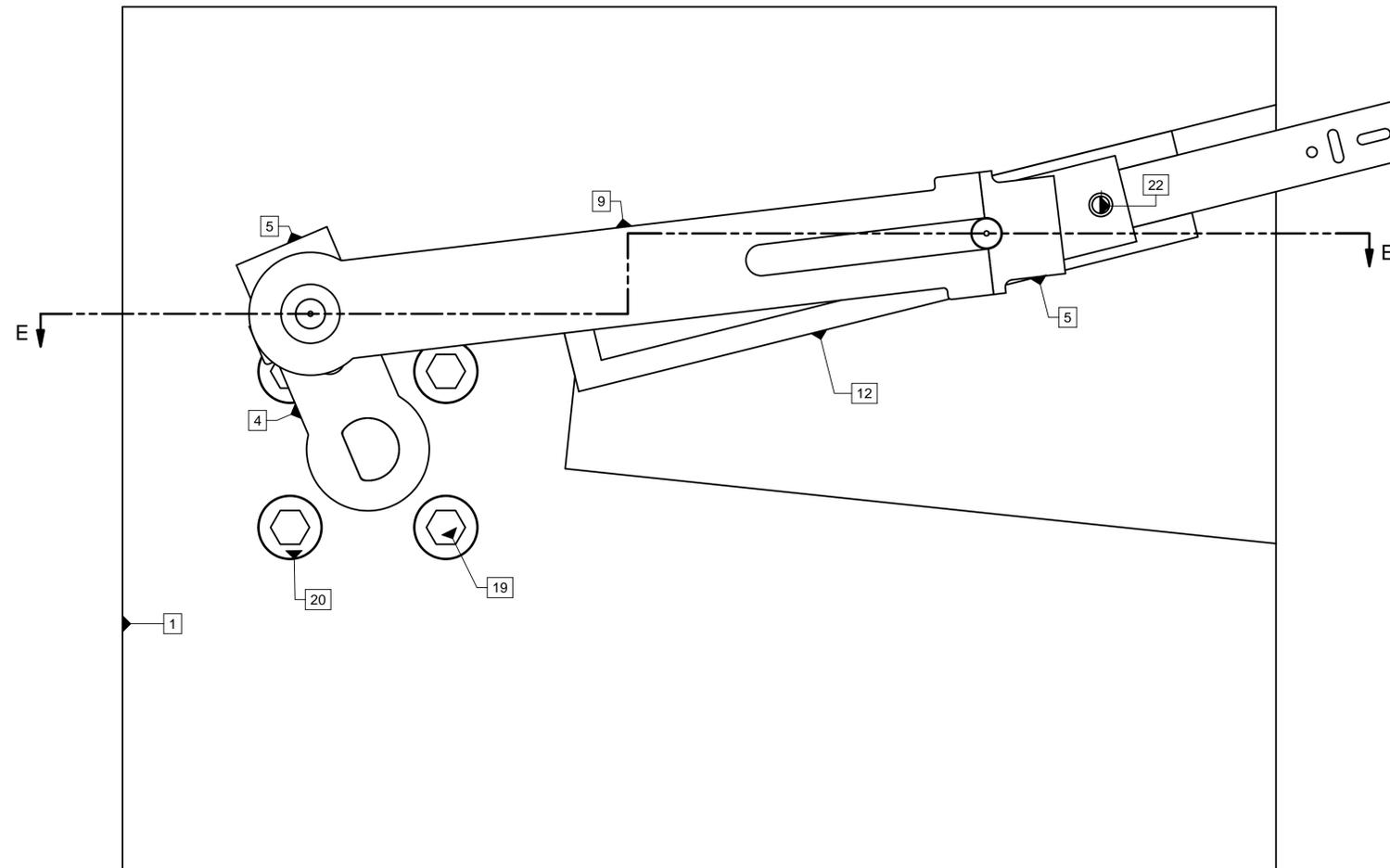
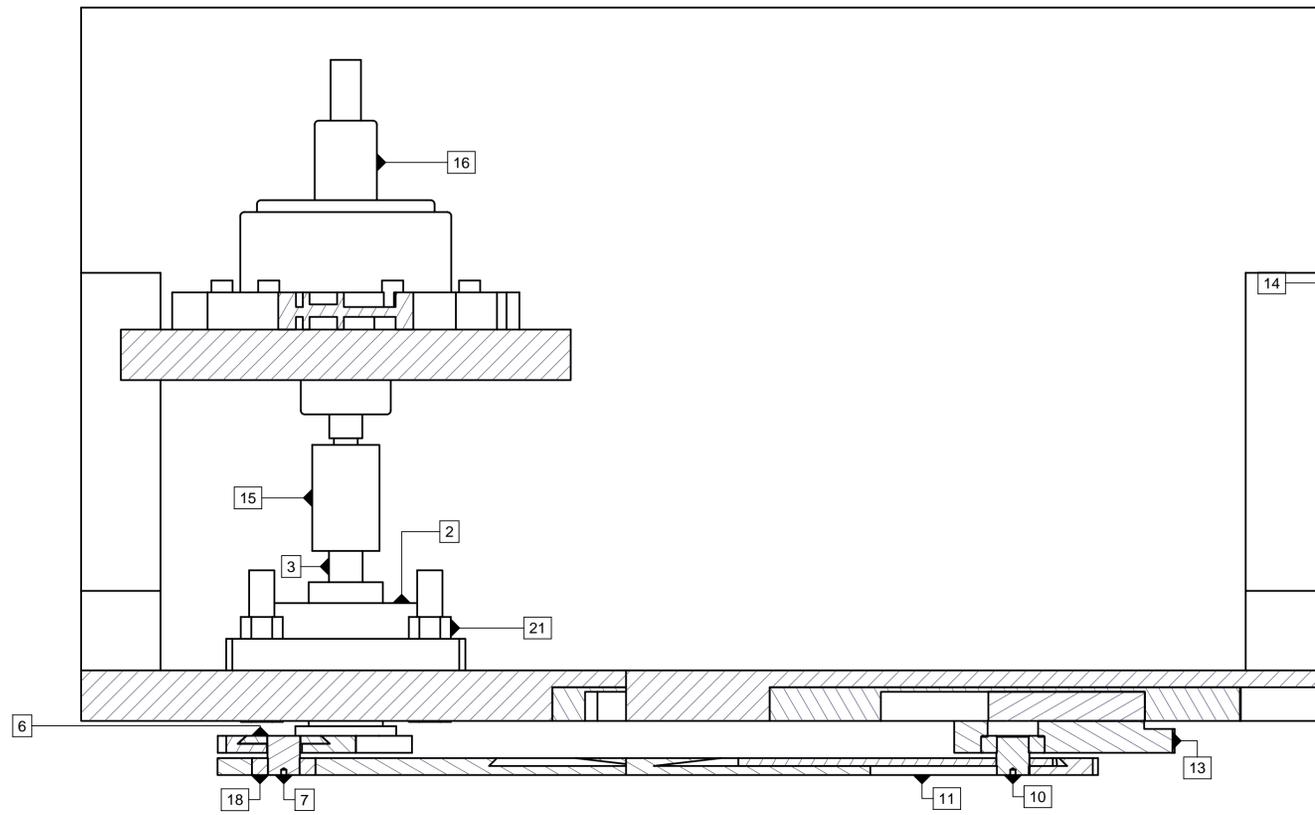


Cantidad: 1 piezas
 Acabado superficial: Ninguno

Nota: Marcar broca de centros

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio	
PERNO DE JUNTA DE ACOPLADOR PARA MECANISMO RRRR			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 3:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.1.5.4	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	

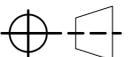
CORTE E-E



LISTA DE PARTES			
No.	CANTIDAD	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	1	base de mecanismo RRPR	
2	1	chumacera de 1/2 inch., 4 barrenos	LKS mod.: NF-8, proveedor: rodamientos satélite, tels.:5398-9769 y 5362-7528
3	1	eje de transmisión	
4	1	manivela para mecanismo RRPR	
5	2	tapa de eslabones	
6	1	junta de manivela para mecanismo RRPR	
7	1	perno de junta de manivela para mecanismo RRPR	
9	1	acoplador para mecanismo RRPR	
10	1	perno junta de acoplador para mecanismo RRPR	
11	1	junta de acoplador para mecanismo RRPR	
12	1	guía de corredera	Corredera de extensión total de 12", niquelada, marca: Chapa, proveedor: Home Dipot
13	1	junta de corredera	
14	1	base de mesa	
15	1	acoplador motor-eje	
16	1	reductor de velocidad	transmisión de lavadora
18	2	balero	NKS mod.: N-6901-2RS, proveedor: rodamientos satélite, tels.:5398-9769 y 5362-7528
19	4	tornillo 3/8 - 16UNC	
20	4	rondana 3/8	
21	4	tuerca 3/8	
22	2	tornillo #8-32UNC	0.5 pulg. de longitud
24	2	mensula	
25	1	base de transmisión MCTI	

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ENSAMBLE DE MECANISMO RRPR



Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Revisión: 0	Escala 0.75
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.2.0.0	
		Hoja 1 de 1	

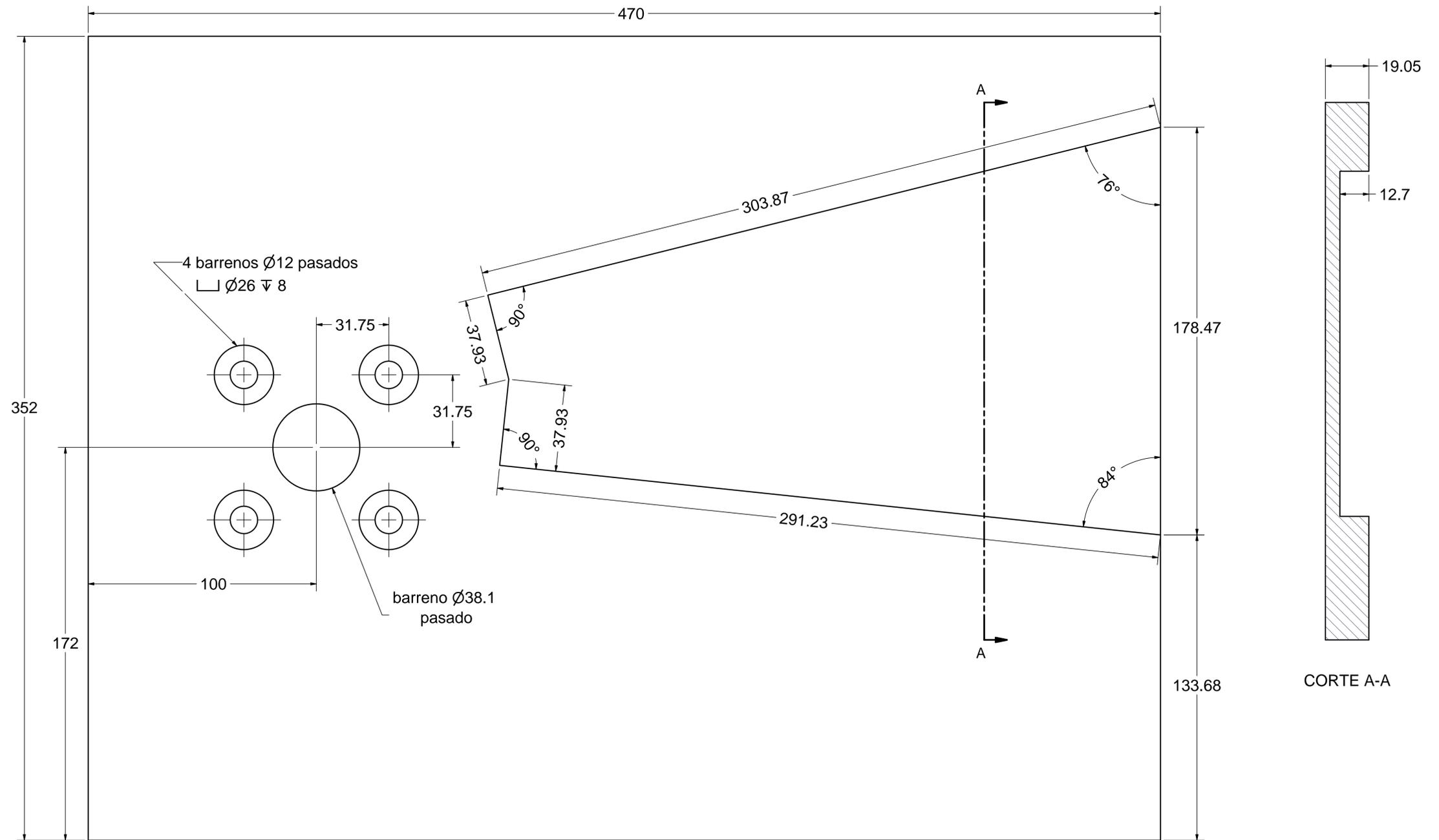
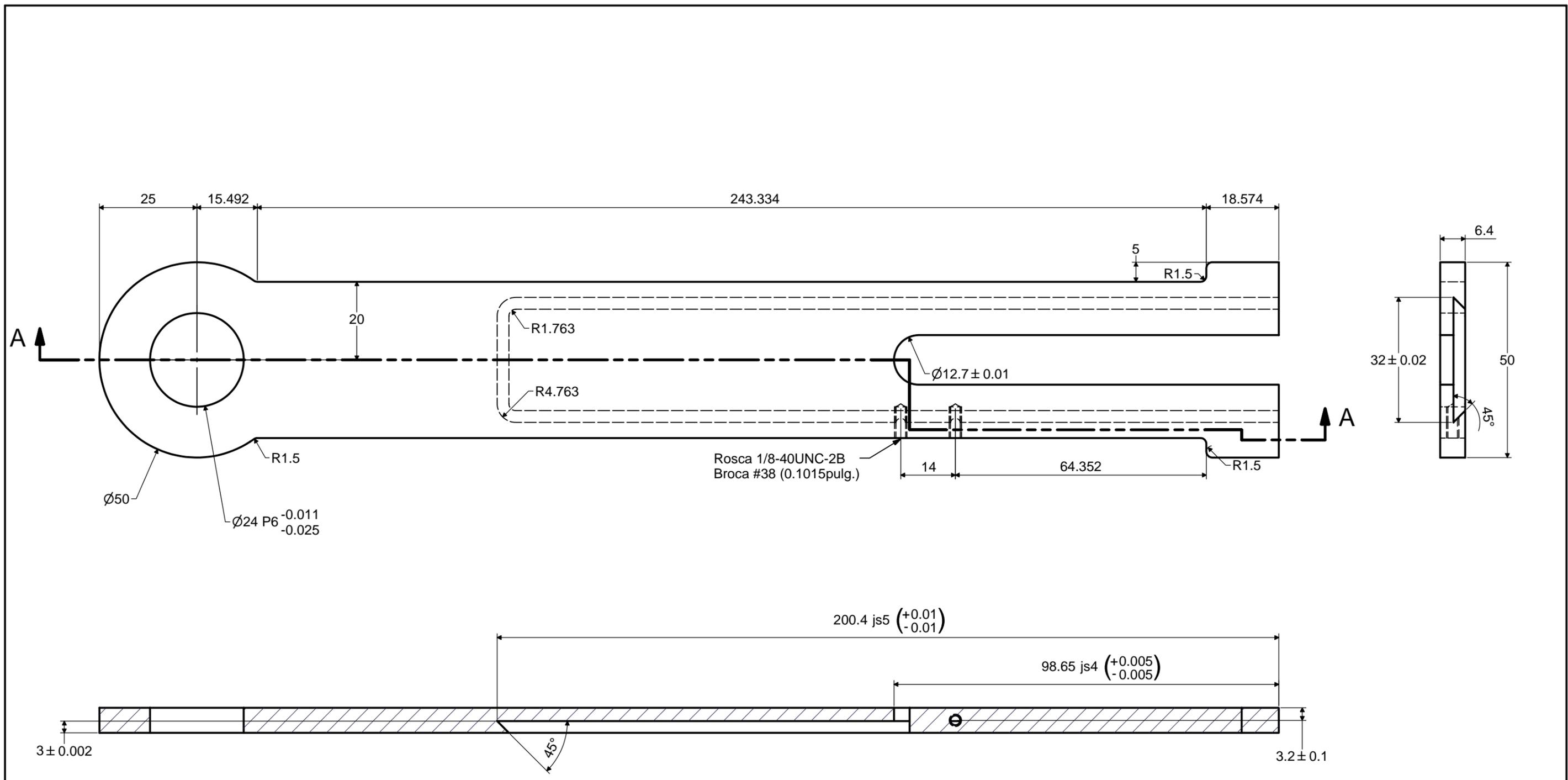


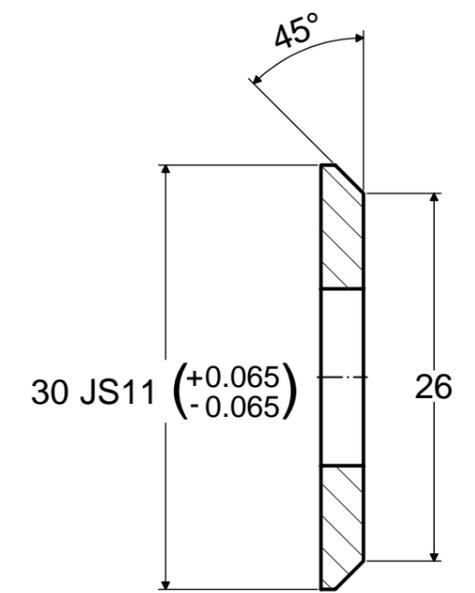
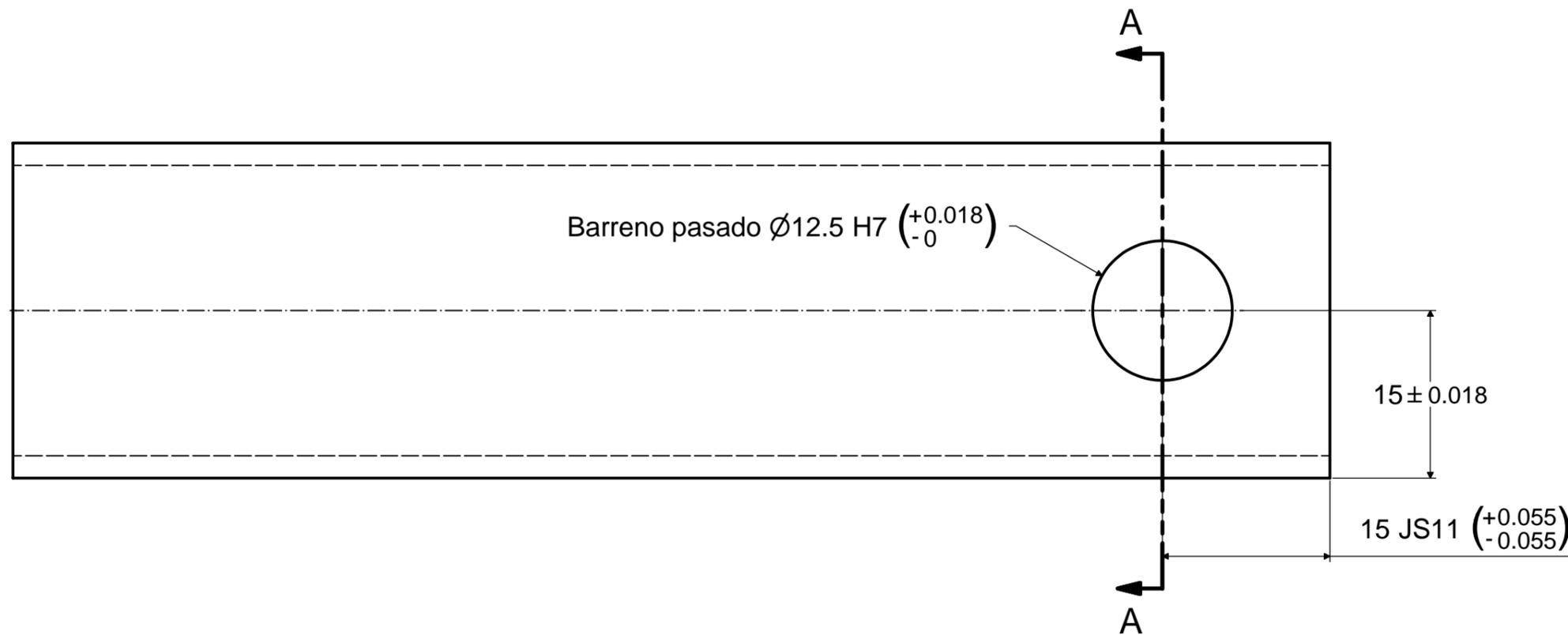
Tabla de 3/4 pulg. de espesor
 Recubrimiento: Pintura acrílica color blanco

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: MDF	
BASE DE MECANISMO RRPR			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Revisión: 0	Escala 1:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.2.1.0	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	

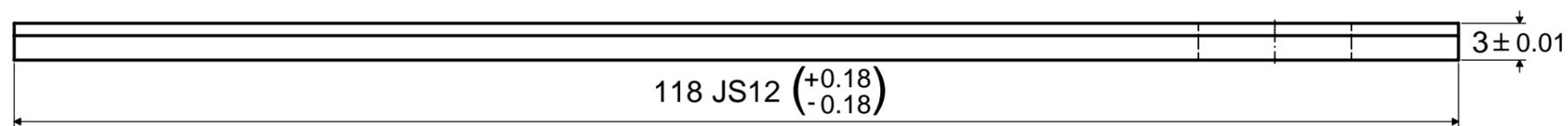


CORTE A-A

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio 6063-T5	
ACOPLADOR DE MECANISMO RRPR			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Revisión: 0	Escala: 1:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.2.3.0	
Ing. Romy Pérez Moreno		Hoja 1 de 1	

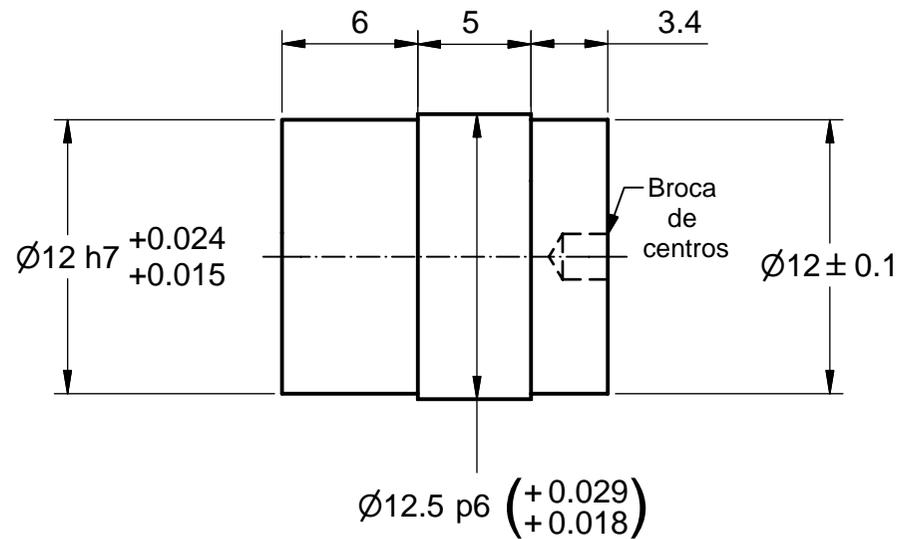


CORTE A-A



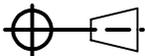
Cantidad: 1 pieza

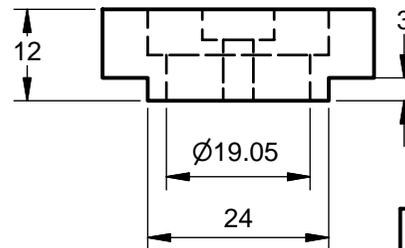
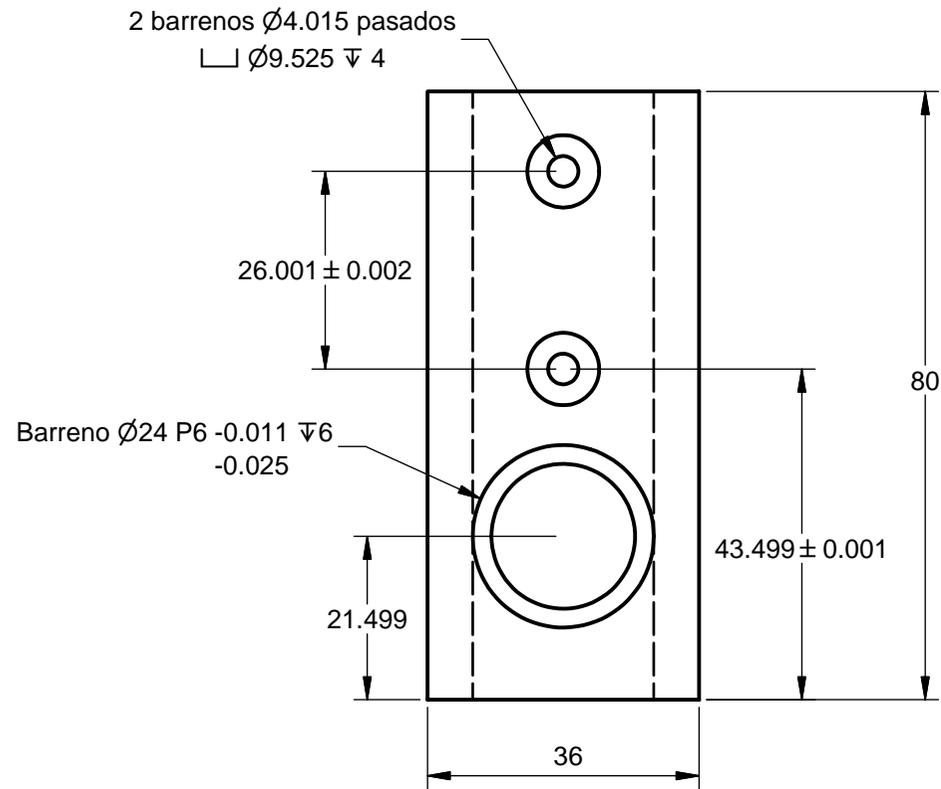
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio	
JUNTA DE ACOPLADOR PARA MECANISMO RRPR			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy		Fecha y firma:	
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda		Fecha y firma:	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda		Fecha y firma:	
Ing. Romy Pérez Moreno		Revisión: 0	Escala 2:1
		Acotaciones: mm	
		Dibujo No. A1.2.31	
		Hoja 1 de 1	



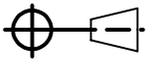
Cantidad: 1 pieza
Acabado superficial: Ninguno

Nota: Marcar broca de centros

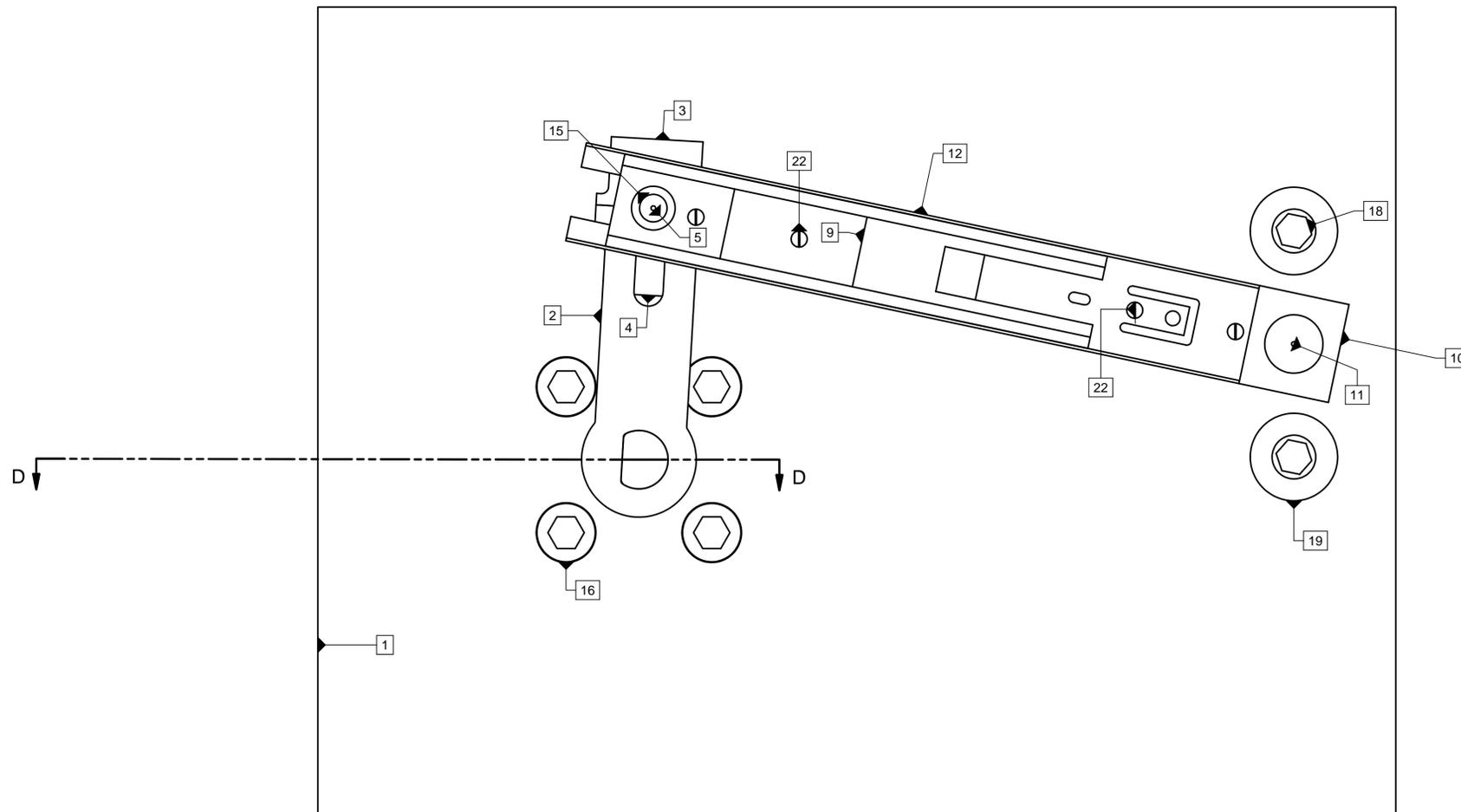
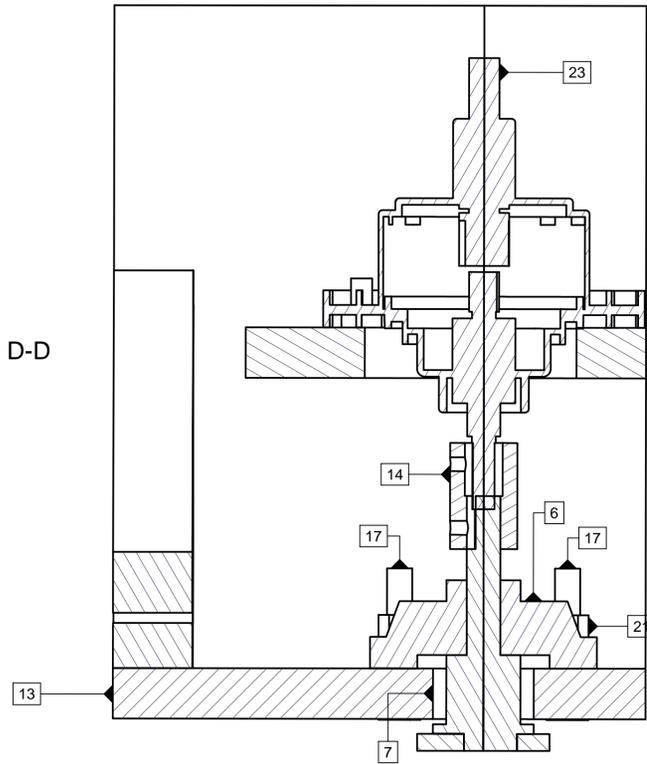
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio	
PERNO DE JUNTA DE ACOPLADOR PARA MECANISMO RRPR			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 3:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.2.3.2	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	



Cantidad: 1 pieza

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio	
JUNTA DE CORREDERA			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 1:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.2.4.0	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	

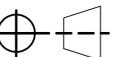
CORTE D-D



LISTA DE PARTES			
No.	CANTIDAD	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	1	base de mecanismo RRRR	
2	1	manivela para mecanismo RRRP	
3	1	tapa de eslabones	
4	1	junta para manivela de mecanismo RRRP	
5	1	perno de junta de manivela para mecanismo RRRP	
6	1	chumacera de 1 inch., 4 barrenos	LKS mod.: NF-16, proveedor: rodamientos satélite, tels.:5398-9769 y 5362-7528
7	1	eje de transmisión	
8	1	chumacera de 1/2 inch., 2 barrenos de 1 inch	LKS mod.: NFD-8, proveedor: rodamientos satélite, tels.:5398-9769 y 5362-7528
9	1	extremo guía lado manivela	
10	1	extremo guía lado chumacera	
11	1	eje de salida	
12	1	guía de corredera	Corredera de extensión total de 12", niquelada, marca: Chapa, proveedor: Home Depot
13	1	soporte de mecanismo	
14	1	acoplador motor-eje	
15	1	balero	NKS mod.: N-6901-2RS, proveedor: rodamientos satélite, tels.:5398-9769 y 5362-7528
16	4	rondana 3/8	
17	4	tornillo 3/8 - 16UNC	
18	2	tornillo 7/16-14UNC	
19	2	rondana 7/16	
20	2	tuerca 7/16	
21	4	tuerca 3/8	
22	4	tornillo #8-32UNC	0.5 pulg. de longitud
23	1	reductor de velocidad	
28	2	mensula	
29	1	base de transmisión MCTI	

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ENSAMBLE DE MECANISMO RRRP



Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Revisión: 0	Escala 0.75
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.3.0.0	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	

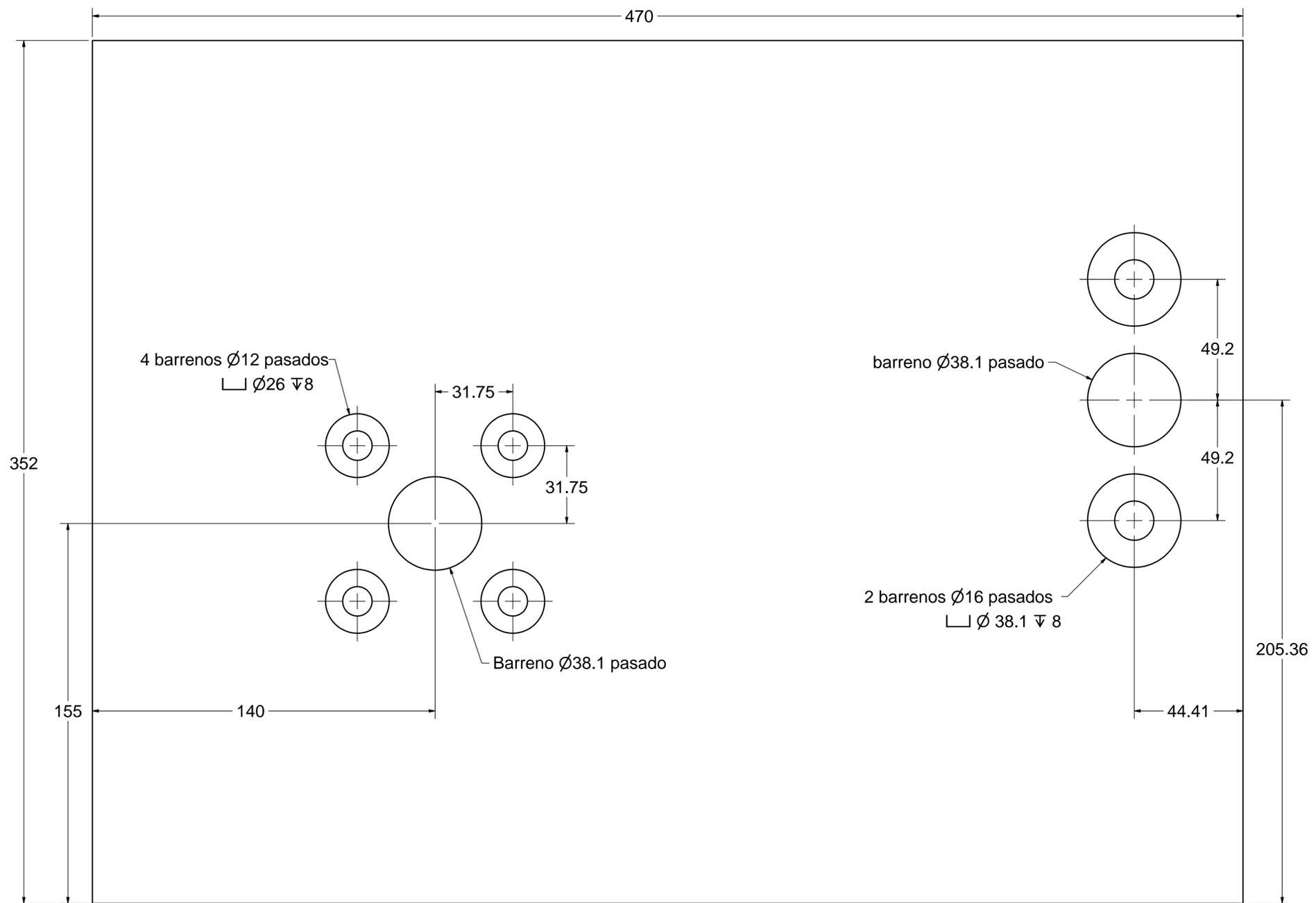
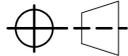
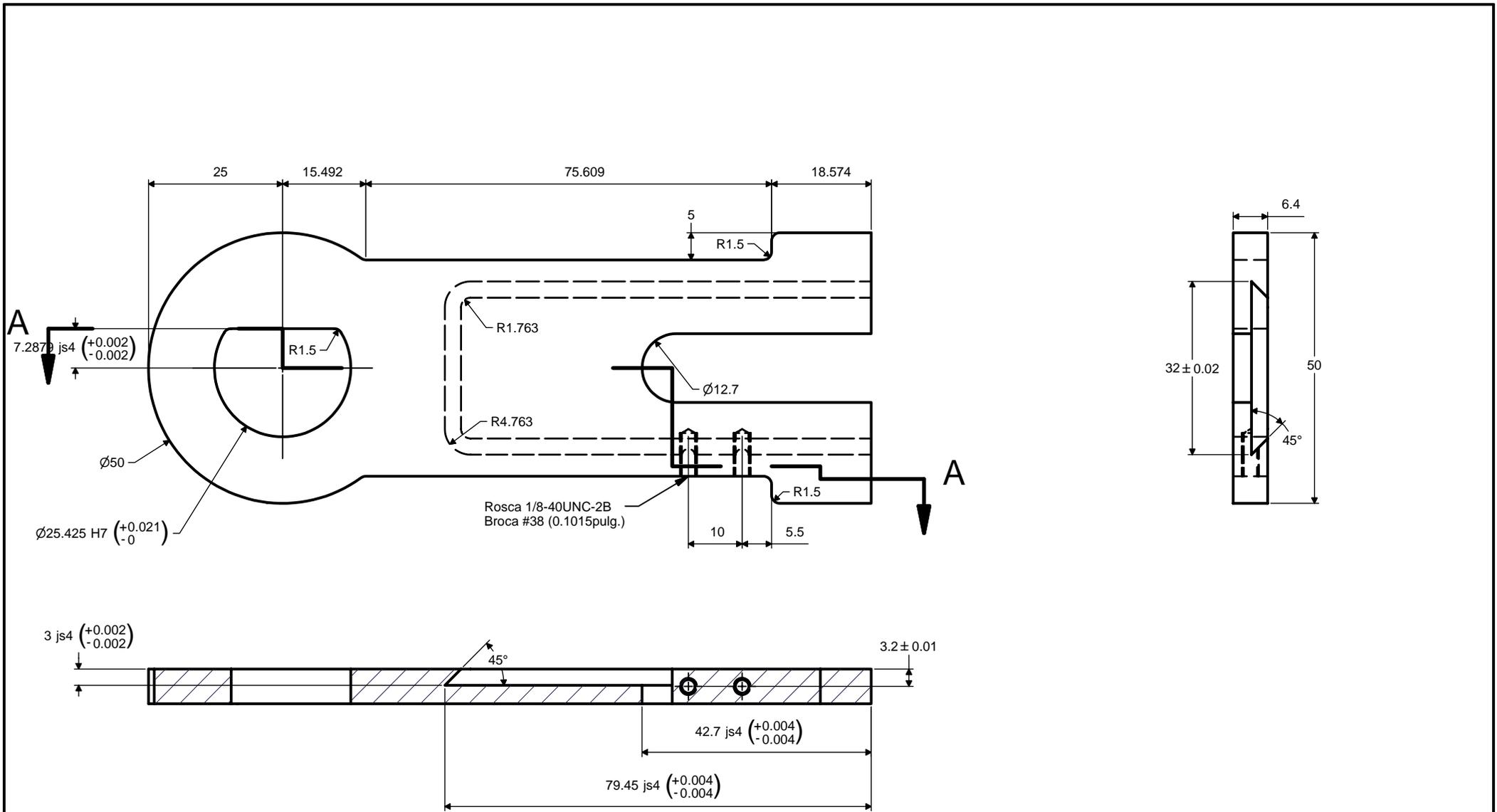


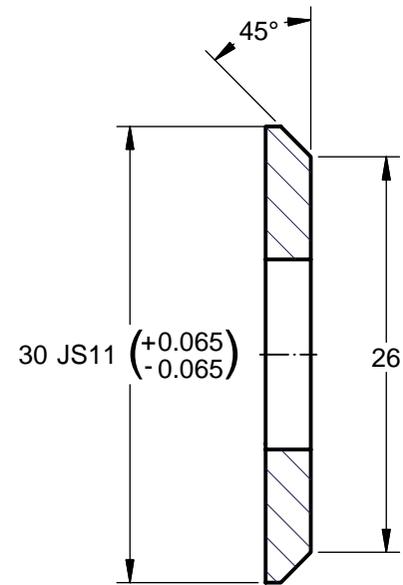
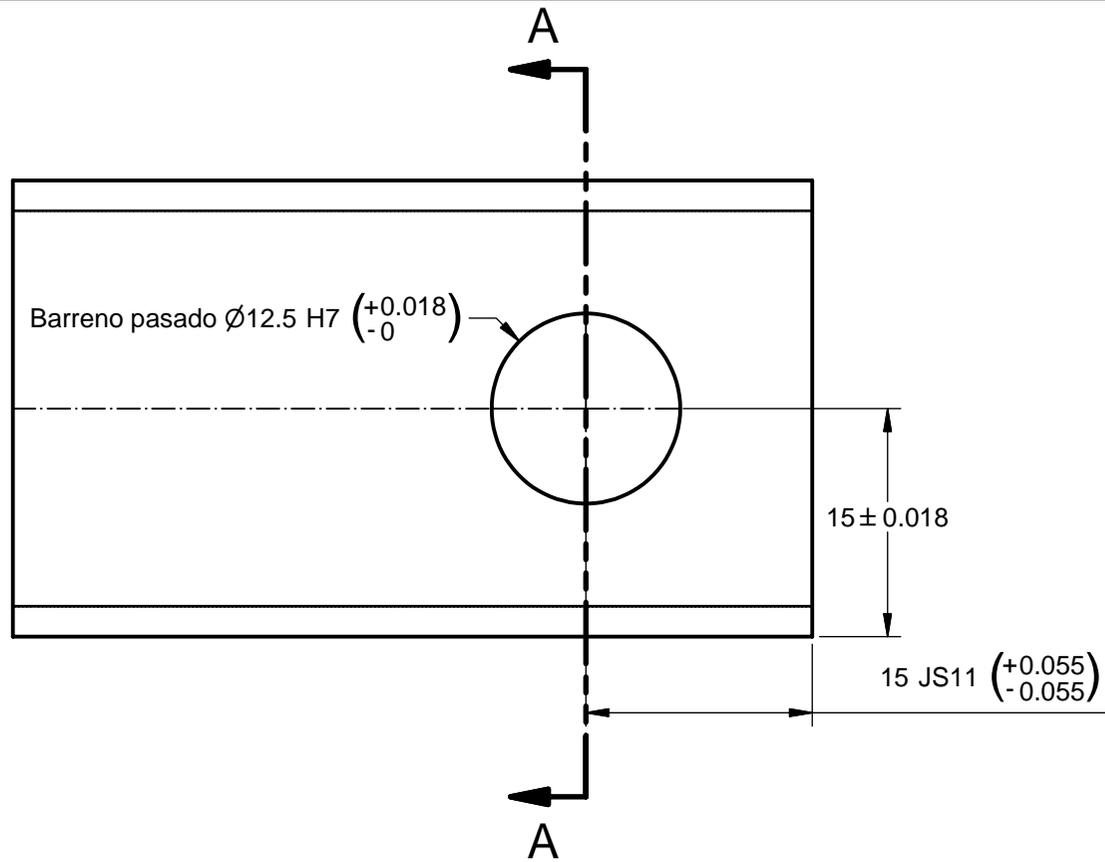
Tabla de 3/4 pulg. de espesor
 Recubrimiento: Pintura acrílica color blanco

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: MDF	
BASE DE MECANISMO RRRP			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Revisión: 0	Escala 1:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.3.1.0	
		Hoja 1 de 1	

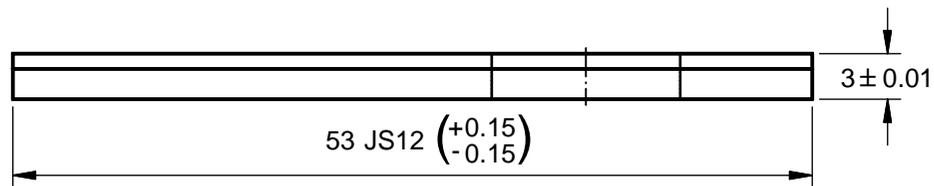


CORTE A-A

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio 6063-T5	
MANIVELA PARA MECANISMO RRRP			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 1:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.3.2.0	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	



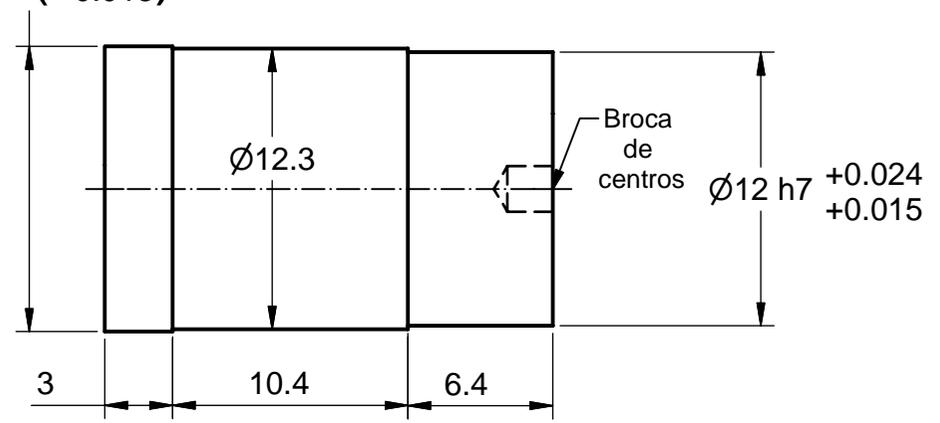
CORTE A-A



Cantidad: 1 pieza

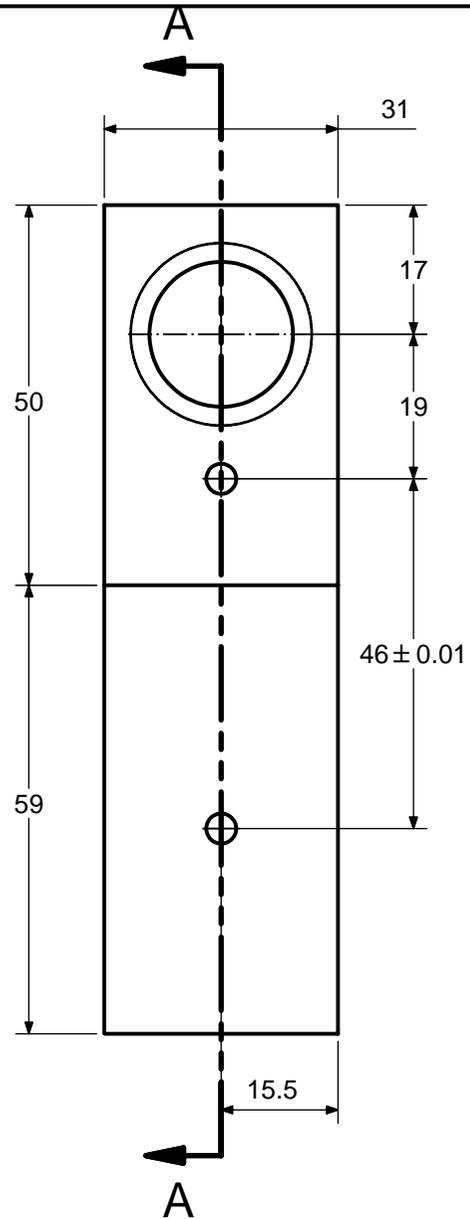
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio	
JUNTA DE MANIVELA PARA MECANISMO RRRP			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 2:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.3.2.1	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	

$\varnothing 12.5$ p6 $\left(\begin{matrix} +0.029 \\ +0.018 \end{matrix} \right)$

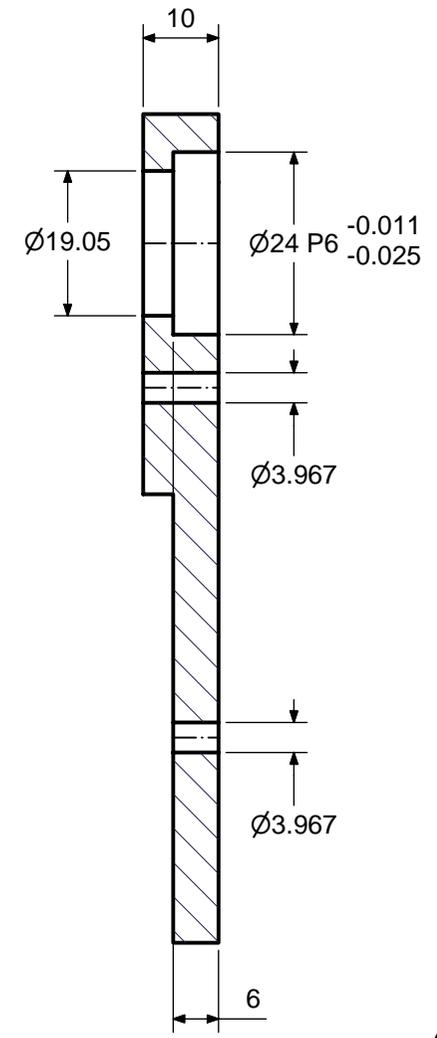


Cantidad: 1 pieza
 Acabado superficial: Ninguno
 Nota: Marcar broca de centros

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio	
PERNO DE JUNTA DE MANIVELA PARA MECANISMO RRRP			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 3:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.3.2.2	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	

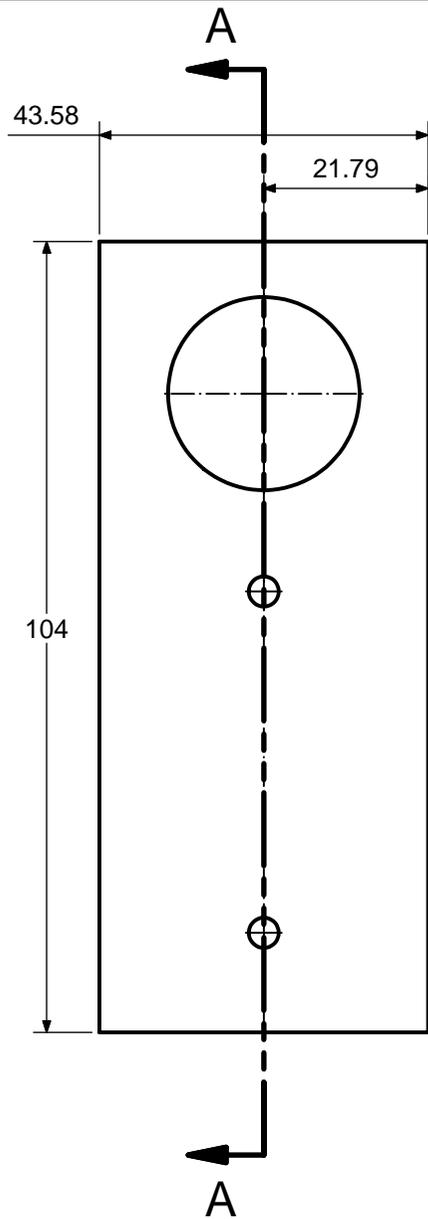


CORTE A-A

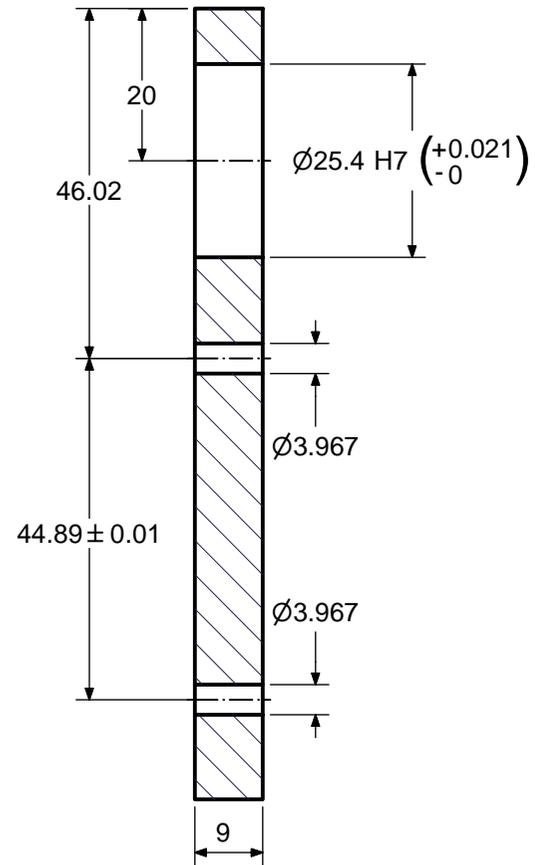


Cantidad: 1 pieza

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Aluminio	
EXTREMO GUÍA LADO MANIVELA			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 1:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.3.3.1	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	

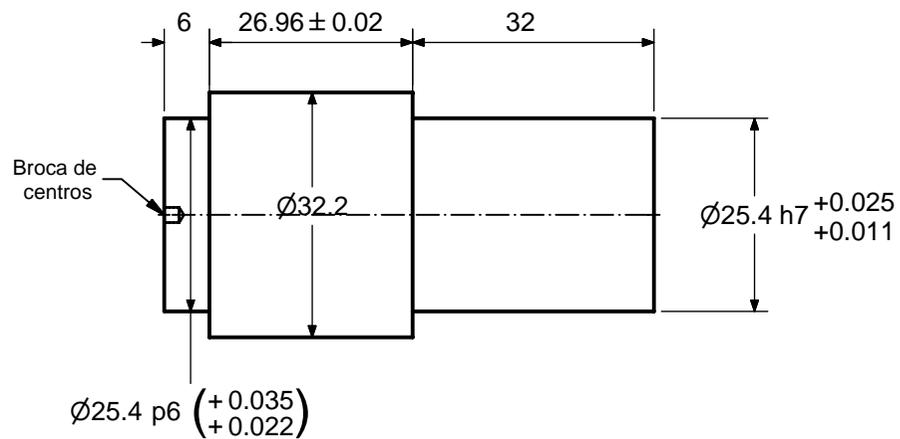


CORTE A-A



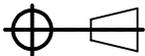
Cantidad: 1 pieza

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Acero 1018 cold rolled	
EXTREMO GUÍA LADO CHUMACERA			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 1:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.3.3.2	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	



Cantidad: 1 pieza
 Acabado superficial: Ninguno

Nota: Marcar broca de centros

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		Material: Acero 1018 cold rolled	
EJE DE SALIDA			
Dibujó: Hiram Ezequiel Chávez Bedoy	Fecha y firma:	Rev. No: 0	Escala 1:1
Revisó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Acotaciones: mm	
Aprobó: Ing. Sergio Alejandro Villanueva Pruneda	Fecha y firma:	Dibujo No. A1.3.4.0	
Ing. Romy Pérez Moreno	Fecha y firma:	Hoja 1 de 1	

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

- 1) **CALERO** P. Roque, **CARTA** G. José Antonio, “Fundamentos de mecanismos y máquinas para ingenieros”, Ed. MC GRAW HILL, España, 1999.
- 2) **NORTON** Robert L., “Diseño de maquinaria”, Ed. MC GRAW HILL, México, 2000.
- 3) **MABIE** Hamilton H., “Mecanismos y dinámica de maquinaria”, Ed. LIMUSA, México, 1996.
- 4) **PAUL** Burton, “Kinematics and Dynamics of planar machinery”, Ed. PRENTICE-HALL, E.U.A., 1979.
- 5) **PÉREZ** M. Romy, “Análisis de mecanismos y problemas resueltos”, Ed. INNOVACIÓN EDITORIAL LANGARES DE MÉXICO, México, 2004.
- 6) **ALTING** Leo, “Procesos para ingeniería de manufactura”, Ed. ALFAOMEGA, Nueva York , 1996.
- 7) **WIKIPEDIA**, Material compuesto, disponible http://es.wikipedia.org/wiki/Material_compuesto.

- 8) **PROCESOS DE ENSAMBLE**, disponible en <http://sifunpro.tripod.com/ensamble.htm>
- 9) **DeGARMO**, E. Paul, “Materials and processes in manufacturing”, Ed. PRENTICE-HALL, U.S.A, 1997.
- 10) **WIKIPEDIA**, Autocad, disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/AutocadG>.
- 11) **WIKIPEDIA**, Autodesk Inventor, disponible en http://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor.
- 12) **NORTON** Robert L., “Diseño de máquinas”, Ed. PRENTICE-HALL, México, 1999.
- 13) **VILLANUEVA** P. Sergio A., **RAMOS** W. Jorge, “Manual de métodos de fabricación metalmecánica”, Ed. AGT editor, México, 2001.