



Casa abierta al tiempo

Universidad Autónoma Metropolitana

Azcapotzalco

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

PROYECTO DE INTEGRACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTOTECNOLÓGICO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MANIPULADOR TIPO SCARA CONTROLADO
DESDE LA PC

POR:

ADRIÁN OCTAVIO FERNÁNDEZ RAMÍREZ 206200082

JUAN FRANCISCO JASSO LUA 206301993

ASESOR:

ING. ROMY PÉREZ MORENO

MÉXICO D.F.

MARZO 2014

Yo, Ing. Romy Pérez Moreno, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.

Yo, Adrián Octavio Fernández Ramírez, doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.

Yo, Juan Francisco Jasso Lua, doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Casa Abierta al Tiempo

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA



PT01

(Original y cuatro tantos)

SOLICITUD DE AUTORIZACION DE PROYECTO(S) TERMINAL(ES): CLAVE(S): 113351 y 113352

FERNÁNDEZ RAMÍREZ ADRIÁN OCTAVIO.	206200082		
NOMBRE DEL ALUMNO:	MATRICULA		
Ingeniería Mecánica.	19/JULIO/2012	ING. PÉREZ MORENO ROMY.	ENERGÍA.
Carrera	Fecha	Asesor	Departamento

Nombre del proyecto: Diseño y construcción de un manipulador tipo SCARA controlado desde la PC.

Objetivos del proyecto.

Objetivo General.

-Diseñar y construir un manipulador tipo SCARA controlado desde la PC.

Objetivos específicos.

- Diseñar el volumen de trabajo del manipulador para cumplir con un cilindro de cuando menos 0.4 m de radio y 0.35 m de altura.
- Diseñar y construir un sistema mecánico ligero y robusto que realice los movimiento de un brazo robótico tipo SCARA de cinco grados de libertad.
- Instalar los cinco propulsores que impulsarán los eslabones de la estructura del robot.
- Implementar un sistema electrónico disponible en el mercado nacional, basado en un microcontrolador que sea capaz de accionar los motores de uno en uno, en respuesta a las órdenes del usuario, a través de una interfaz gráfica en una PC.

Antecedentes del proyecto:

Como antecedentes de este proyecto dentro de la universidad autónoma metropolitana, tenemos que se realizó un proyecto terminal referente al robot SCARA. Se cuenta con un prototipo de robot tipo SCARA de proyecto trimestre 11P. Por las diferentes limitaciones de trabajo que éste tiene, se planteo retomar este proyecto con un nuevo diseño y diferentes alcances.

Descripción técnica:

Diseño por medio de un programa CAD, y construcción de un manipulador tipo SCARA controlado a través de la PC. Con fines didácticos y para futuros proyectos terminales con mayores alcances.

Fechas importantes

Entrega del informe parcial o final al asesor: 12ª semana trimestre 13I.

Presentación del informe al comité de estudios: 12ª semana trimestre 13I.

Alumno (firma)
ANEXOS: Plan de trabajo

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA Casa Abierta al Tiempo Azcapotzalco

19 JUL 2012

COORDINACIÓN ING. MECANICA

ING. PÉREZ MORENO ROMY.

M. en C. Arturo Lizardi Ramos
Coordinador de estudios

19/07/2012

Fecha

Original: Coordinación de sistemas escolares
Copia 1: Coordinador de estudios
Copia 4: Interesado

Copia 2: Departamento correspondiente
Copia 3: Asesor

UNIDAD AZCAPOTZALCO
DIVISION DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas. 02200 México, D.F. Apdo. Postal 16-306 02000 México, D.F. Tel: 5318 9060



Casa Abierta al Tiempo

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA



PT01

(Original y cuatro tantos)

2012 JUL 24 AM 11:06

SOLICITUD DE AUTORIZACION DE PROYECTO(S) **TERMINAL(ES): I y II** CLAVE(S): **113351 y 113352**

JASSO LUA JUAN FRANCISCO	206301993	RECIBIDO SECCION ANALISIS Y PROGRAMACION ESCOLAR	
NOMBRE DEL ALUMNO:	MATRICULA	ING. PÉREZ MORENO ROMY.	
Ingeniería Mecánica.	19/JULIO/2012		ENERGÍA.
Carrera	Fecha	Asesor	Departamento

Nombre del proyecto: Diseño y construcción de un manipulador tipo SCARA controlado desde la PC.

Objetivos del proyecto.

Objetivo General.

-Diseñar y construir un manipulador tipo SCARA controlado desde la PC.

Objetivos específicos.

- Diseñar el volumen de trabajo del manipulador para cumplir con un cilindro de cuando menos 0.4 m de radio y 0.35 m de altura.
- Diseñar y construir un sistema mecánico ligero y robusto que realice los movimiento de un brazo robótico tipo SCARA de cinco grados de libertad.
- Instalar los cinco propulsores que impulsarán los eslabones de la estructura del robot.
- Implementar un sistema electrónico disponible en el mercado nacional, basado en un microcontrolador que sea capaz de accionar los motores de uno en uno, en respuesta a las órdenes del usuario, a través de una interfaz gráfica en una PC.

Antecedentes del proyecto:

Como antecedentes de este proyecto dentro de la universidad autónoma metropolitana, tenemos que se realizo un proyecto terminal referente al robot SCARA. Se cuenta con un prototipo de robot tipo SCARA de proyecto trimestre 11P. Por las diferentes limitaciones de trabajo que éste tiene, se planteo retomar este proyecto con un nuevo diseño y diferentes alcances.

Descripción técnica:

Diseño por medio de un programa CAD, y construcción de un manipulador tipo SCARA controlado a través de la PC. Con fines didácticos y para futuros proyectos terminales con mayores alcances.

Fechas importantes

Entrega del informe parcial o final al asesor: 12ª semana trimestre 13I.

Presentación del informe al comité de estudios: 12ª semana trimestre 13I.



Juan Jasso
Alumno (firma)

AMM CBI DIVISION CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
Casa Abierta al Tiempo Azcapotzalco

19 JUL 2012

COORDINACIÓN ING. MECANICA

Romy
ING. PÉREZ MORENO ROMY.

ANEXOS: Plan de trabajo

M. en C. Arturo Lizardi Ramos
Coordinador de estudios

19/07/2012
Fecha

Original: Coordinación de sistemas escolares

Copia 1: Coordinador de estudios

Copia 4: Interesado

UNIDAD AZCAPOTZALCO

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas. 02200 México, D.F. Apdo. Postal 16-306 02000 México, D.F. Tel: 5318 9060

Copia 2: Departamento correspondiente

Copia 3: Asesor

El presente trabajo de proyecto terminal es un esfuerzo en el cual se involucró la participación de distintas personas, directa o indirectamente. Por lo cual extiendo un agradecimiento por su opinión, paciencia y ánimo.

Un especial agradecimiento a mis padres y mi hermano, por el apoyo y atención durante toda una formación académica, por todos los valores inculcados, por todo el amor, cariño y confianza les estoy muy agradecido.

Adrián Octavio Fernández Ramírez

Gracias Dios por ser mi guía

A mi Esposa, gracias por tu tiempo, por tu esfuerzo, tu paciencia, tu amor, tú eres mi equilibrio.

A mi Madre, educaste al niño y formaste al joven, hoy hay un hombre que te admira.

A mi Padre, por tu apoyo y tus consejos, ya es mucho tiempo y sé que estás con migo.

Con especial dedicación a mi Hija. Andrea, eres mi luz, mi dirección y mi sentido, formemos juntos toda una vida de sueños y metas que cumplir.

Juan Francisco Jasso Lua

Resumen

El presente proyecto muestra de manera concreta el procedimiento que se llevó a cabo para la construcción de un manipulador didáctico tipo *SCARA* controlado desde una computadora, comenzando con la descripción de las características del manipulador, sus ventajas y aplicaciones, los objetivos del proyecto y un marco teórico que enuncia los términos necesarios que deben conocerse para familiarizarse con el lenguaje del escrito, así como los fundamentos de operación necesarios para entender y analizar los movimientos del manipulador.

El marco teórico es de vital importancia si el lector se interesa en conocer, aprender, criticar, analizar e introducirse al estudio de los manipuladores robóticos, no sólo del manipulador que se presenta, en general ofrece ejemplos cinemáticos y cómo comenzar su análisis, aunque este estudio es muy complejo. Dentro del segundo y tercer capítulo se resume el análisis al que se puede someter el manipulador *SCARA*, pues construido pasa a ser un modelo didáctico.

Una vez definida la estructura del manipulador, el cuarto, quinto y sexto capítulo, muestran al lector el proceso de manufactura del manipulador y la vinculación de la estructura con la parte electrónica y el *software*. Estos capítulos son fundamentales para que el lector en papel de operador del mecanismo, obtenga la información necesaria para la manipulación del brazo *SCARA*, pues se indica detalladamente la manera de conectar, armar, programar y vincular todos los elementos para que el manipulador opere con cinco grados de libertad.

Contenido

1	Introducción	1
1.1	Descripción del proyecto	1
1.2	Antecedentes	2
1.3	Objetivos	3
2	Terminología.....	4
2.1	<i>Software</i>	4
2.2	<i>Hardware</i>	4
2.3	Microcontrolador	4
2.4	Puente H	5
2.5	Fuente de poder	5
2.6	Motores a pasos.....	5
2.7	Servomotor.....	6
2.8	Rodamiento.....	6
3	Fundamentos de diseño	7
3.1	Elementos Mecánicos	7
3.2	Matriz de transformación homogénea	8
3.3	Cinemática	14
3.2	Momento de inercia.....	19
4	Manual de usuario del manipulador SCARA	21
4.1	Lenguaje y programación Arduino	21
4.2	Vinculación electrónica, impulsores y <i>software</i> de control	24
5	Manufactura del manipulador	32
5.1	Análisis y diseño mecánico	32
5.2	Dibujos normalizados.....	32
5.3	Operaciones.....	68
6	Análisis y Resultados	76
6.1	Vinculación de la estructura mecánica, impulsores, electrónica y <i>software</i> de control.	76
6.2	Pruebas.....	76
6.3	Resultados	76
6.4	Conclusiones.....	78
6.5	Recomendaciones	80

Figuras

Fig. 1.1 Volumen de trabajo de un manipulador cilíndrico.....	3
Fig. 3.1 GDL de un cuerpo en el espacio	8
Fig. 3.2 Punto P en dos sistemas coordenados.	11
Fig. 3.4 Posición del efector final.....	14
Fig. 3.5 Robot SCARA.....	17
Fig. 4.1 Ubicación de la dirección del <i>Software</i> Arduino, versión 1.0.4.	21
Fig. 4.2 Proceso de reconocimiento del <i>Hardware</i> a través del ordenador.	22
Fig.4.3 <i>Hardware</i> reconocido por el ordenador a través de un puerto serial	22
Fig. 4.4 Interfaz del <i>software</i> Arduino, elección de la tarjeta Arduino Mega 2560.	23
Fig. 4.5 Ejemplo Movimiento de un motor a pasos y un servomotor con Arduino.	24
Fig. 4.6 Vinculación electrónica, <i>software</i> e impulsores, prueba	25
Fig. 4.7 Vinculación electrónica, <i>software</i> e impulsores, funcional	31
Fig. 6.1 Radio de trabajo de los eslabones	77

Tablas

Tabla 3.1 Parámetros DH brazo planar.	16
Tabla 3.2 Parámetros DH SCARA.....	18
Tabla 4.1, M1 “Motor de flecha de transmisión 1”	26
Tabla 4.2, M2 “Motor de flecha de transmisión 2”	27
Tabla 4.3, M3 “Motor de guía lineal”	28
Tabla 4.4, S1 “Servomotor de rotación de garra”	29
Tabla 4.5, S2 “Servomotor de acción de garra”	30

Notación

(a_i) : Longitud del eslabón

(b_i) : Desplazamiento de la articulación

c_i : Coseno de θ_i

d : Distancia ente el eje central y el eje paralelo, m

I_{cm} : Inercia centro de masa, $kg \cdot m^2$

I_p : Inercia paralela, $kg \cdot m^2$

α : vector posicional que denota la traslación del origen al sistema M

$[o_F]$: Vector posicional de traslación de F a M

0^T : Vector tridimensional de ceros

p : Vector que denota el punto P desde el origen del sistema F

p' : Vector que denota el punto P desde el origen del sistema M

P_F : Vector P en un sistema de referencia F

$[p_F]$: Vector p en el sistema fijo F

$\overline{[P_F]}$: Vector de cuatro dimensiones en F

P_M : Vector P en un sistema de referencia M

$[p'_M]$: Vector pen el sistema M

$\overline{[P'_M]}$: Vector de cuatro dimensiones en M

P_u : Proyección del vector P sobre el eje U

P_v : Proyección del vector P sobre el eje V

P_w : Proyección del vector P sobre el eje W

P_x : Proyección del vector P sobre el eje X

P_y : Proyección del vector P sobre el eje Y

P_z : Proyección del vector P sobre el eje Z

Q : Matriz 3x3 de orientación

Q : Orientación del sistema M respecto a F

r_i : Distancia, m

s_i : Seno de θ_i :

T : Matriz de transformación homogénea
 T_i : Matriz de transformación homogénea para los parámetros DH
 T_b : Matriz de desplazamiento de junta
 T_θ : Matriz del ángulo de junta
 T_a : Matriz de longitud de eslabón
 T_α : Matriz de ángulo de torsión
 T_{ef} : Matriz de transformación del efector final
 T_{i1} : Matriz de transformación de la primera articulación
 T_{i2} : Matriz de transformación de la segunda articulación
 T_{in} : Matriz de transformación de una i -ésima articulación
 u : Vector unitario en el eje U
 u_x, u_y, u_z : Componentes del vector unitario U a lo largo de los ejes X, Y y Z.
 v : Vector unitario en el eje V
 v_i : Velocidad lineal, m/s
 v_x, v_y, v_z : Componentes del vector unitario V a lo largo de los ejes X, Y y Z.
 w : Vector unitario en el eje W
 w_x, w_y, w_z : Componentes del vector unitario W a lo largo de los ejes X, Y y Z.
 x : Vector unitario en el eje X
 (y) : Elevación en un volumen de trabajo
 y : Vector unitario en el eje Y
 z : Vector unitario en el eje Z
 (z) : Alcance en volumen de trabajo
 (α_i) : Ángulo de torsión de un eslabón
 (θ) : Rotación de base en un volumen de trabajo
 (θ_i) : Ángulo de la articulación
 ω : Velocidad angular, rad/s

Abreviaturas

(CR): Cuerpo rígido

DH: Parámetros de Denavit y Hartenberg

(F): Sistema fijo de referencia

(GDL): Grados de libertad

H: Altura del material

(M): Sistema móvil de referencia

M : Masa del CR, kg

M1: Motor a pasos uno

M2: Motor a pasos dos

M3: Motor a pasos tres

(P): Punto en un sistema de referencia

PWM Modulación por ancho de Pulsos

RPM Revoluciones por minuto

Rx: Rotación en el eje X

Ry: Rotación en el eje Y

Rz: Rotación en el eje Z

SCARA Selective Compliance Articulated Robot Arm

S1: Servomotor uno

S2: Servomotor dos

t: Espesor del material

TTL: Lógica transistor a transistor

Tx: Traslación en el eje X

Ty: Traslación en el eje Y

Tz: Traslación en el eje Z

W: Ancho del material

\emptyset ext: Diámetro externo del material

\emptyset int: Diámetro interno del material

1 Introducción

Dentro de este capítulo se entenderá el concepto de lo que es un *robot*, que es un manipulador tipo *SCARA* y los lineamientos de diseño y construcción de un modelo didáctico del mismo tipo, las ventajas y aplicaciones que ofrece y la metodología de trabajo del proyecto de integración.

1.1 Descripción del proyecto

En base al avance científico y tecnológico que demanda el campo de la ingeniería a través de la manipulación de medios mecánicos, eléctricos y electrónicos en conjunto, hoy en día se ha convertido en necesidad conocer y manejar *software* de diseño, control, automatización y programación, para la construcción de máquinas que sean multifuncionales y reprogramables, constituidas por un sinnúmero de elementos, y con el objetivo de realizar trabajos por largas jornadas. Al conjunto de estos elementos generalmente lo conocemos como *robot*, ésta palabra es de origen checo y proviene de la palabra *robota* la cual quiere decir “fuerza del trabajo”, “servidumbre” o “trabajo obligatorio”.

Con el paso del tiempo se ha adoptado la idea de que los manipuladores han llegado para reemplazar el trabajo humano, pero por el contrario, el sentido de la construcción de un *robot* es el de relevar a un humano de una labor demasiado estricta, pues por sus diseños, algunos asemejan los movimientos humanos, pero con la ventaja de que pueden trabajar en ambientes y condiciones muy peligrosas para el hombre. En la actualidad se utilizan los *robots* en cualquier rama de la industria, como la automotriz, metalmecánica, agropecuaria, sector salud, inspección, uso militar y seguridad, por mencionar algunos.

De todas las aplicaciones de *robots*, las más usuales son la soldadura y montaje, para esta última operación, existe un manipulador que responde satisfactoriamente a las necesidades, hablamos del manipulador tipo *SCARA*, que por su diseño es de gran ventaja, además de que es muy virtuoso en el traslado, la carga y descarga en diferentes procesos, como líneas de producción.

Un *robot* tipo *SCARA* posee por sus articulaciones, cinco grados de libertad, de las cuales cuatro son de tipo rotatorias y una prismática; esto permite al *robot* ubicar a un objeto en un espacio cilíndrico, tres dimensiones, el movimiento lo realiza por medio de una serie de instrucciones proporcionadas desde un *software*.

Durante este proyecto, se planteó utilizar servomotores y motores a pasos en las articulaciones del brazo, esto por su gran versatilidad de montaje, tamaño y control de posición, se puso énfasis en la elección de los impulsores adecuados para la aplicación en el manipulador y en la tarjeta de control para la manipulación de dichos impulsores, dada la gran variedad de éstos en el mercado. Se diseñó la estructura que conforma el cuerpo del manipulador utilizando como herramienta un paquete de CAD, respetando los criterios de dimensión mencionados en los objetivos para el conjunto de los eslabones, analizando las dimensiones y motores disponibles se eligió el tipo de material y formas idóneas que nos dan una estructura ligera y robusta. Acorde a los diseños establecidos se realizó la manufactura de los elementos mecánicos que constituyen el manipulador. Teniendo todos los elementos, tanto partes comerciales como partes fabricadas, comenzó la fase de ensamble y pruebas de control mecánico y electrónico, aplicando las correcciones necesarias.

1.2 Antecedentes

El robot SCARA por sus siglas tiene el significado de *Selective Compliance Articulated Robot Arm* (Selección Conforme a un Brazo Robótico Articulado), Fue desarrollado en la universidad de Yamanashi por Hiroshi Makino y presentado como un concepto totalmente diferente de montajes de robots en 1981 por la empresa manufacturera de Sankyo Seiki (fabricante de productos electrónicos), Pentel (fabricante de productos de escritorio) y NEC (fabricante de productos electrónicos) las tres empresas japonesas, desde entonces es considerado como parte importante en el desarrollo de tecnología de líneas de montaje.

Cuando el brazo de robot contiene dos articulaciones de revoluta que ubican un punto en un plano y una junta prismática, se considera como robot cilíndrico, cuyo brazo se mueve especificando coordenadas cilíndricas, es decir, tiene una rotación de base (θ), un alcance(z) y una elevación(y)respectivamente. Asumiendo cualquier posición entre los límites superior e inferior especificados, su efector final puede moverse en un volumen limitado. [1]

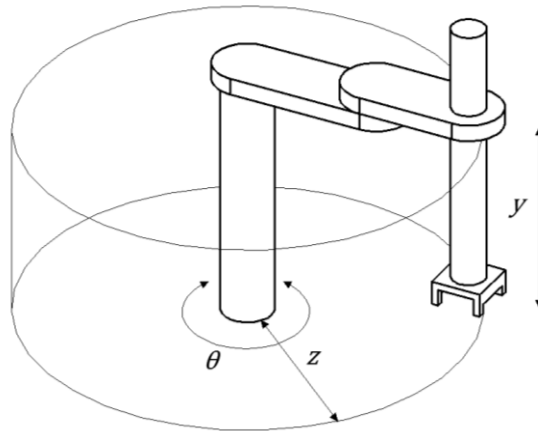


Fig 1.1 Volumen de trabajo de un manipulador cilíndrico.

1.3 Objetivos

Con el objetivo de proporcionar a la UAM–A un sistema didáctico y de sencilla manipulación para los fines que a ésta le convengan, se diseñará y construirá un manipulador tipo SCARA con cinco grados de libertad.

Objetivo General.

- Diseñar y construir un manipulador tipo SCARA controlado desde la PC.

Objetivos específicos.

- Diseñar el volumen de trabajo del manipulador para cumplir con un cilindro de cuando menos 0.4 m de radio y 0.35 m de altura.
- Diseñar y construir un sistema mecánico ligero y robusto que realice los movimiento de un brazo robótico tipo SCARA de cinco grados de libertad.
- Instalar los cinco propulsores que impulsarán los eslabones de la estructura del robot.
- Implementar un sistema electrónico disponible en el mercado nacional, basado en un microcontrolador que sea capaz de accionar los motores de uno en uno, en respuesta a las órdenes del usuario, a través de una interfaz gráfica en una PC.

2 Terminología

Este capítulo describe los conceptos ingenieriles básicos para desarrollar en el lector una mejor perspectiva del lenguaje que se maneja en el presente proyecto, con la finalidad de esclarecer las ideas y comprender la elección de los medios electrónicos y propulsores, así como elementos auxiliares.

2.1 Software

Es el equipamiento lógico o de un ordenador, es decir, todo lo intangible, el cual abarca aplicaciones informáticas que tienen como finalidad la realización de tareas específicas.

2.2 Hardware

Corresponde a todas las partes físicas y tangibles del ordenador, componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos.

2.3 Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que en su interior incluye las tres unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y unidades de entrada y salida.

2.3.1 Arduino

Arduino® es una familia con *hardware* consistente en una tarjeta con microcontrolador Atmel AVR y puertos I/O, que por su sencillez y bajo coste permiten a la plataforma Arduino un entorno para diseñar y desarrollar proyectos de tipo electrónico. Arduino® tiene la ventaja de ofrecer un *software* libre con

lenguaje de programación propio, basado en el lenguaje de alto nivel *Wiring* y en el entorno de desarrollo *Processing*, sin embargo es posible utilizar otros lenguajes de programación, como C++, el software es descargable y sin ningún cargo en la página oficial de Arduino®, [7]

2.4 Puente H

El puente H es un circuito electrónico que permite a un motor DC girar en sentido de avance y retroceso, disponibles en el mercado nacional con el nombre de circuitos integrados, y que, por su gran gama, se puede elegir el adecuado para una tarea específica, con el fin de desarrollar proyectos electrónicos, compatibles con microcontroladores y de bajo consumo de energía.

2.5 Fuente de poder

Como sabemos, los diferentes elementos que demandan consumo de energía eléctrica, especifican el voltaje y corriente necesarios para su alimentación y mejor eficiencia, un motor a pasos puede usar de 5V a 12V DC, un circuito integrado necesita 5V DC, un servomotor 5V, etc. Para trabajar con distintos voltajes fuera de un laboratorio, satisface nuestras necesidades una fuente de poder de PC, pues ofrece voltajes de 3V, 5V y 12V, además de conectarse a cualquier terminal eléctrica de 120V AC.

2.6 Motores a pasos

Los motores a pasos (*Stepper Motors* o *Stepping Motors*). Son usualmente compatibles con muchos dispositivos de retroalimentación, su ventaja precisa en no requerir adicionalmente equipos de conversión digital a analógica cuando se conectan a un sistema de control por computadora, normalmente la flecha del motor gira en forma incremental en pasos iguales en respuesta a un tren de impulsos de entrada programado. El número de pulsos por unidad de tiempo determina la velocidad del motor, el máximo par torsor dinámico ocurre con bajas frecuencias de pulsos, por lo tanto le es fácil acelerar una carga, una vez que alcanzó la posición requerida y se detienen los impulsos la flecha se detiene sin necesidad de embragues o frenos.[1]

2.7 Servomotor

El servomotor es un dispositivo pequeño que tiene un eje de rendimiento controlado. Este puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Con tal de que una señal codificada exista en la línea de entrada, el servo mantendrá la posición angular del engranaje. Cuando la señal codificada cambia, la posición angular de los piñones cambia. En la práctica, se usan servos para posicionar superficies de control como el movimiento de palancas, pequeños ascensores y timones.

El control de un servomotor se realiza mediante pulsos cuadrados o también llamado PWM (*Pulses Width Modulation*) Modulación por ancho de Pulsos. El servo espera ver un pulso cada 20 milisegundos (.02 segundos). La longitud del pulso determinará los giros de motor. Un pulso de 1.5 ms, por ejemplo, hará que el motor se torne a la posición de 90 grados (llamado la posición neutra). Si el pulso es menor de 1.5 ms, entonces el motor se acercará a los 0 grados. Si el pulso es mayor de 1.5ms, el eje se acercará a los 180 grados.

2.8 Rodamiento

Elemento mecánico que reduce la fricción de un eje y una pieza conectada a éste, a través de una rodadura, la cual sirve de apoyo y facilita su desplazamiento angular o lineal, la elección de un rodamiento varia inmensamente, pues existe un sinnúmero de rodamientos, desde un punto de vista cinemático se catalogan en tres categorías:

- Rodamientos para cargas radiales
- Rodamientos para cargas axiales
- Rodamientos para cargas mixtas

También se catalogan por el tipo de rodadura que los constituye:

- Rodamiento de bolas
- Rodamiento de rodillos
- Rodamiento de agujas

Depende de nuestras necesidades la elección del adecuado, por ejemplo, diámetro de flecha, alta velocidad, capacidad de carga, resistencia a la fatiga, etc.

3 Fundamentos de diseño

Este capítulo ilustra cómo influye el diseño de la estructura del manipulador en los análisis de movimiento, pues podemos describir posiciones y orientación de los eslabones y principalmente del efector final conocido como *gripper* o garra robótica, a través de modelos matemáticos, como lo es la cinemática directa e inversa, se describe la metodología de estudio para el análisis y se mencionan fenómenos físicos que deben ser considerados en la planeación del movimiento.

3.1 Elementos Mecánicos

3.1.1 Eslabón

Pieza usualmente rígida, la cual permite la transmisión o transformación de un movimiento, conectado a uno o más eslabones a través de una articulación.

3.1.2 Articulación

Los mecanismos se acoplan mediante pares o articulaciones cinemáticas, la función de la articulación es la de conectar dos eslabones entre sí, definiendo el tipo y la cantidad de movimiento permisible entre los elementos conectados, los cuales, por ser rígidos, mantendrán una distancia entre dos puntos dentro de su geometría, por lo consiguiente, se forman restricciones físicas en los eslabones.

- Articulación de revoluta

Unión que sólo permite movimiento rotacional a través de un eje entre los eslabones, entonces presenta un grado de libertad.

- Articulación prismática

Unión que sólo permite movimiento traslacional a través de un eje entre los eslabones, entonces presenta un grado de libertad.[3]

3.1.3 Grados de libertad

Un manipulador se compone de un conjunto de eslabones, conectados en serie mediante articulaciones las cuales restringen el tipo de movimiento de cada eslabón, en cada uno de los ejes de un sistema de referencia tridimensional. Los grados de libertad (GDL) del robot dependen de las restricciones que presente la articulación, así como de la cadena cinemática que se forme.

Generalmente un eslabón mecánico tiene seis GDL de los cuales la articulación restringe cinco, dando sólo movilidad en un eje, ya sea del tipo rotacional (R_x , R_y , R_z) o traslacional (T_x , T_y , T_z). (Fig.3.1) [2]

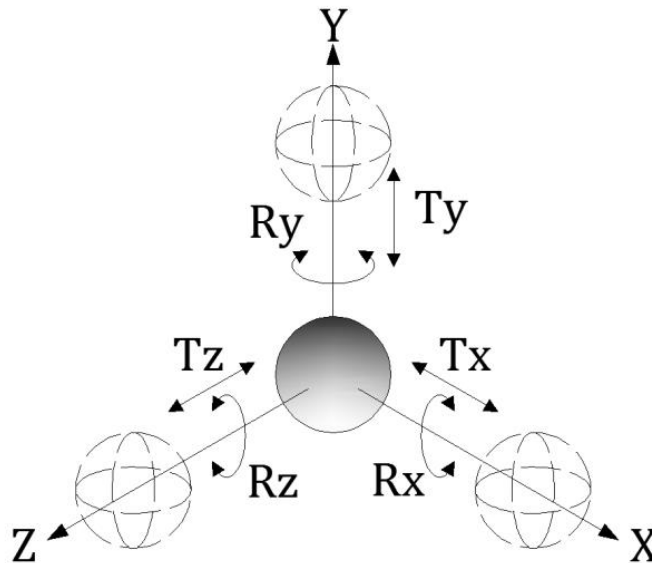


Fig. 3.1 GDL de un cuerpo en el espacio

3.2 Matriz de transformación homogénea

El movimiento de un cuerpo rígido (CR) en el espacio tridimensional se compone a través de seis coordenadas, tres cartesianas y tres angulares, las cuales definen la traslación y la rotación, respectivamente, dentro del estudio de la cinemática de manipuladores robóticos, es necesario definir posición y orientación de cuerpos rígidos en el espacio. Para describir la posición y la orientación del CR es necesario situar un sistema fijo de referencia (F) y un sistema móvil (M) adjunto al CR.

Para describir la posición de un punto (P) sobre un CR respecto al sistema F se puede emplear el vector cartesiano tridimensional (ec.3.1).

$$[P_F] = \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Donde:

P_F : Vector P en un sistema de referencia F

P_x : Proyección del vector P sobre el eje X

P_y : Proyección del vector P sobre el eje Y

P_z : Proyección del vector P sobre el eje Z

Lo cual puede expresarse de forma alternativa como:

$$P = P_x x + P_y y + P_z z \quad (3.2)$$

Donde:

x : Vector unitario en el eje X

y : Vector unitario en el eje Y

z : Vector unitario en el eje Z

Para describir la orientación de un CR respecto al sistema F existen diversos modelos matemáticos, dos maneras muy usuales son la representación por los ángulos de Euler y la representación por coseno director, para describir la orientación a través de este último, se considera el movimiento a través de los ejes U, V y W de un sistema móvil M con respecto a F, (ec 3.3)

$$[P_M] = \begin{bmatrix} P_u \\ P_v \\ P_w \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Donde:

P_M : Vector P en un sistema de referencia M

P_u : Proyección del vector P sobre el eje U

P_v : Proyección del vector P sobre el eje V

P_w : Proyección del vector P sobre el eje W

Lo cual puede expresarse de forma alternativa como:

$$P = P_u u + P_v v + P_w w \quad (3.4)$$

Donde:

u : Vector unitario en el eje U

v : Vector unitario en el eje V

w : Vector unitario en el eje W

Las proyecciones de los vectores unitarios se representan como:

$$u = u_x x + u_y y + u_z z \quad (3.5a)$$

$$v = v_x x + v_y y + v_z z \quad (3.5b)$$

$$w = w_x x + w_y y + w_z z \quad (3.5c)$$

Donde:

u_x, u_y, u_z : Componentes del vector unitario U a lo largo de los ejes X, Y y Z.

v_x, v_y, v_z : Componentes del vector unitario V a lo largo de los ejes X, Y y Z.

w_x, w_y, w_z : Componentes del vector unitario W a lo largo de los ejes X, Y y Z.

De la ec(3.1) a (3.5c). Tenemos las siguientes identidades:

$$P_x = u_x P_u + v_x P_v + w_x P_w \quad (3.6a)$$

$$P_y = u_y P_u + v_y P_v + w_y P_w \quad (3.6b)$$

$$P_z = u_z P_u + v_z P_v + w_z P_w \quad (3.6c)$$

P_F (ec.3.1) y P_M (ec.3.3), son las representaciones del vector tridimensional P en los sistemas F y M respectivamente, que junto con las identidades (3.6a-c) se puede representar de forma matricial como

$$[P_F] = Q [P_M] \quad (3.7)$$

Donde:

Q : Matriz 3x3 de orientación

La matriz Q transforma la representación del vector P del sistema M al sistema F , la cual es conformada por las componentes de los vectores unitarios ortogonales u, v y w (90° entre cada uno) en el sistema de referencia fijo F , y se representa como:

$$Q = \begin{bmatrix} u_x & v_x & w_x \\ u_y & v_y & w_y \\ u_z & v_z & w_z \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Entonces, para la relación entre los dos sistemas de coordenadas, F y M , se considera un punto arbitrario P sobre un CR (figura 3.2)

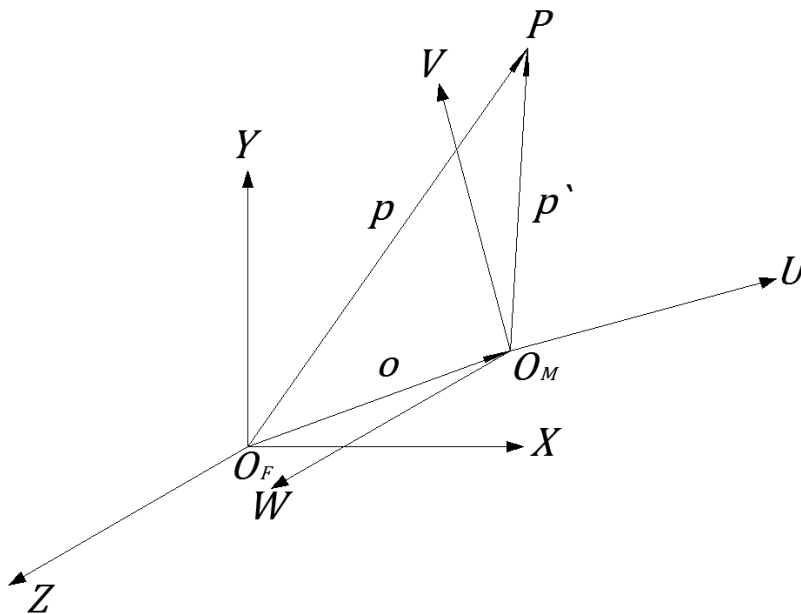


Fig. 3.2 punto P en dos sistemas coordenados. [1]

Como lo ilustra la figura 3.2 la suma de vectores que localizan el punto P se expresa como:

$$p = o + p' \quad (3.9)$$

Donde:

p : Vector que denota el punto P desde el origen del sistema F

p' : Vector que denota el punto P desde el origen del sistema M

o : Vector posicional que denota la traslación del origen al sistema M

Entonces a partir de la ec (3.9) la ec. (3.7) que representa la transformación de coordenadas del punto P del CR desde el sistema M al sistema F se escribe como:

$$[p_F] = [o_F] + Q [p'_M] \quad (3.10)$$

Donde:

$[p_F]$: Vector p en el sistema fijo F

$[o_F]$: Vector posicional de traslación de F a M

Q : Orientación del sistema M respecto a F

$[p'_M]$: Vector p en el sistema M

La ec(3.10) se reordena de forma matricial como:

$$\begin{bmatrix} [p_F] \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q & [o_F] \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [p'_M] \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Donde:

$0^T = [0,0,0]$: Vector tridimensional de ceros

Reescribiendo la ec(3.11) se obtiene:

$$\overline{[P_F]} = T \overline{[P'_M]} \quad (3.12)$$

Donde:

$\overline{[P_F]}$: Vector de cuatro dimensiones en F

$\overline{[P'_M]}$: Vector de cuatro dimensiones en M

T : Matriz de transformación homogénea

Los vectores de cuatro dimensiones son resultado de colocar un uno al final de los vectores tridimensionales $[p_F]$ y $[p'_M]$ respectivamente, la matriz de transformación T de 4 x 4 se denomina homogénea al incluir traslación y rotación desde el sistema M al sistema F.

Ejemplo 3.1

Rotación y Traslación de ejes.

Considere un sistema M que a partir de un sistema F , es trasladado tres unidades a lo largo de Y y dos unidades a lo largo del eje Z , además es rotado 45° por el eje W .

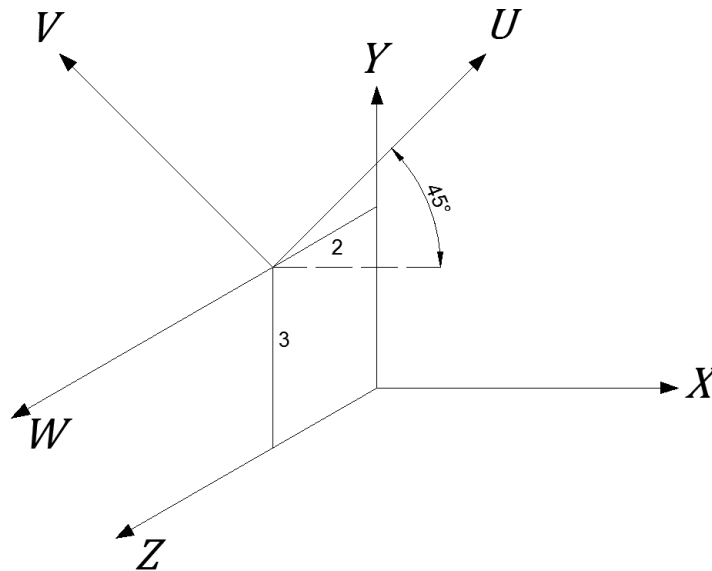


Fig. 3.3 rotación y traslación de un eje coordenado

La matriz de traslación pura se representa como:

$$T_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

La matriz de rotación pura se representa como:

$$T_r = \begin{bmatrix} c45^\circ & -s45^\circ & 0 & 0 \\ s45^\circ & c45^\circ & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

\therefore La matriz de transformación homogénea se representa como:

$$T = T_t T_r = \begin{bmatrix} c45^\circ & -s45^\circ & 0 & 3 \\ s45^\circ & c45^\circ & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

3.3 Cinemática

Se entiende como cinemática al estudio del movimiento sin considerar las fuerzas que lo producen, principalmente analiza una trayectoria a través del tiempo, para que un robot realice una tarea específica se debe conocer la posición y orientación del efector final con respecto a su base, esto se puede conocer a través de las variables cartesianas que presentan las articulaciones que denotan el movimiento del robot, para lo cual es necesario relacionar un conjunto de sistemas coordenados, provenientes de una cadena cinemática.

Una cadena cinemática es un conjunto de eslabones convergentes por articulaciones, las cuales permiten el movimiento del sistema.

Mientras que un mecanismo puede ser un sistema mecánico de cadena abierta o cerrada, un manipulador será un sistema de cadena abierta.

Con el fin de controlar la posición del efector final con respecto a la base, es necesario encontrar la relación entre cada uno de los eslabones y sus movimientos con respecto a sistemas coordenados, esto se logra mediante el análisis de los parámetros de Denavit y Hartenberg (DH), los cuales describen el desplazamiento de la articulación (b_i), ángulo de la articulación (θ_i), longitud del eslabón (a_i) y ángulo de torsión (α_i).

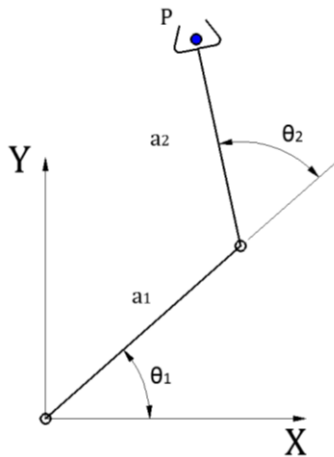


Fig. 3.4 posición del efector final [1]

El primer paso es definir un sistema de referencia fijo, al cual se adjuntarán sistemas de referencia móviles. Como lo describe la sección 3.3, se aplica la transformación de coordenadas a los parámetros

DH, previamente tabulados, esto consiste en la traslación de sistemas coordinados con respecto al un sistema fijo a través de la suma de vectores, reordenados en matrices, esto para cada articulación.

- Traslade un sistema (i) una distancia (b_i) para obtener la primer transformación en forma matricial (T_b) y un sistema (i')
- Gire el sistema (i'), con un ángulo (θ_i), para obtener la segunda transformada (T_θ) y un sistema (i'')
- Deslice el sistema (i''), una longitud (a_i), para obtener una tercer matriz (T_a), y un sistema (i'''),
- Gire el sistema (i'''), con un ángulo (α_i), para obtener una cuarta matriz (T_α)

La resultante se obtiene a través de la posmultiplicación de las cuatro transformaciones, denominada Matriz de Transformación homogénea (T_i), para los parámetros DH.

$$T_i = T_b T_\theta T_a T_\alpha \quad (3.16)$$

Donde:

T_i : Matriz de transformación homogénea para los parámetros DH

T_b : Matriz de desplazamiento de junta

T_θ : Matriz del ángulo de junta

T_a : Matriz de longitud de eslabón

T_α : Matriz de ángulo de torsión

Cabe mencionar que el traslado y giro de cada sistema dependerá del tipo de articulación presente y la nomenclatura que asignemos los ejes principales, esto para un i -ésimo sistema.

3.3.1 Cinemática directa

Para el análisis de posición la cinemática directa, los ángulos (θ_i), y los desplazamientos (b_i), son conocidos, la problemática es encontrar la función del efector final, por lo que se definen los parámetros de DH y se describen las transformadas homogéneas para los parámetros DH ($T_{i1}, T_{i2}, T_{i3}, \dots, T_{in}$) de cada articulación, la transformación del efector final (T_{ef}) se obtiene mediante la multiplicación de las transformaciones ($T_{i1}, T_{i2}, T_{i3}, \dots, T_{in}$)

$$T_{ef} = T_{i1} T_{i2} T_{i3} \dots T_{in} \quad (3.17)$$

Donde:

T_{ef} : Matriz de transformación del efector final

T_{i1} : Matriz de transformación de la primera articulación

T_{i2} : Matriz de transformación de la segunda articulación

T_{in} : Matriz de transformación de una i -ésima articulación

De la resolución de la transformada del efector final se puede conocer los valores de un punto P y un ángulo(ϕ).

Ejemplo 3.2

Cinemática directa de un brazo planar.

A partir de la figura 3.4, se establecen los parámetros DH:

Parámetros DH

Eslabón	b_i	θ_i	a_i	α_i
1	0	θ_1	a_1	0
2	0	θ_2	a_2	0

Tabla 3.1 Parámetros DH brazo planar.

Con respecto a los parámetros DH las transformaciones homogéneas son:

$$T_i, \quad i = 1, 2 \therefore T = T_1 T_2$$

$$T_i = \begin{bmatrix} a_i & -s_i & 0 & a_i c_i \\ a_i & c_i & 0 & a_i s_i \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Donde:

$$s_i = \text{sen } \theta_i$$

$$c_i = \text{cos } \theta_i$$

$$T = \begin{bmatrix} c_{12} & -s_{12} & 0 & a_1 c_1 + a_2 c_{12} \\ s_{12} & c_{12} & 0 & a_1 s_1 + a_2 s_{12} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

T representa la posición o configuración del efector final respecto a su base,

Donde $s_{12} = \text{sen } \theta_{12}$, $c_{12} = \text{cos } \theta_{12}$ y $\theta_{12} = \theta_1 + \theta_2 \dots \theta_i$

Además $P_x = a_1 c_1 + a_2 c_{12}$ y $P_y = a_1 s_1 + a_2 s_{12}$

Ejemplo 3.3

Cinemática directa de un robot SCARA.

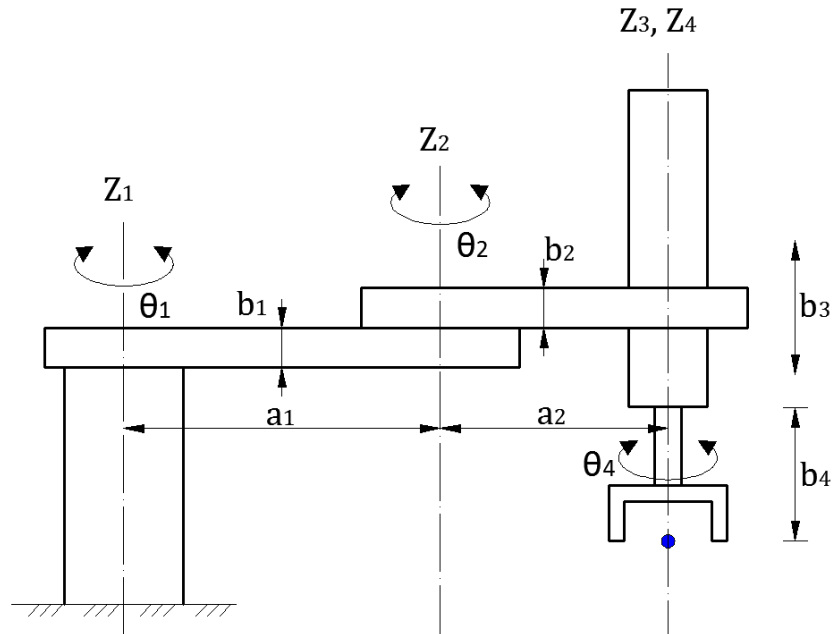


Fig.3.5 Robot SCARA. [1]

Con base a la fig. 3.5 se establecen los parámetros DH.

Eslabón	b_i	θ_i	a_i	α_i
1	b_1	θ_1	a_1	0
2	b_2	θ_2	a_2	0
3	b_3	0	0	0
4	b_4	θ_4	0	0

Tabla 3.2 parámetros DH SCARA

Con respecto a los parámetros DH las transformaciones homogéneas son:

$$T_1 = \begin{bmatrix} c_1 & -s_1 & 0 & a_1 c_1 \\ s_1 & c_1 & 0 & a_1 s_1 \\ 0 & 0 & 1 & b_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

$$T_2 = \begin{bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & a_2 c_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & a_2 s_2 \\ 0 & 0 & 1 & b_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

$$T_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & b_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

$$T_4 = \begin{bmatrix} c_4 & -s_4 & 0 & 0 \\ s_4 & c_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & b_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

∴ la cinemática directa queda como:

$$T = T_1 T_2 T_3 T_4 = \begin{bmatrix} c_{124} & -s_{124} & 0 & a_1 c_1 + a_2 c_{12} \\ s_{124} & c_{124} & 0 & a_1 s_1 + a_2 s_{12} \\ 0 & 0 & 1 & b_1 + b_2 + b_3 + b_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

3.3.2 Cinemática Inversa

En la cinemática directa se establece la orientación y posición del efector final, al tener como dato las variables de las articulaciones, el objetivo de la cinemática inversa es la resolución de las variables de articulaciones a través de una orientación y posición específicas, esto implica encontrar una solución única, generalmente este tipo de análisis se realiza en animaciones, y/o planeaciones industriales que requieren precisión en su proceso, y se resuelven con algún software auxiliar, como lo es MATLAB®.

Generalmente, en la cinemática inversa no es posible encontrar soluciones explícitas, incluso, por la arquitectura del manipulador, no existen soluciones.

Es muy común que, para encontrar una solución explícita se empleen métodos de álgebra o geometría, y en algunos casos se encuentre una solución numérica por medio de un algoritmo de aproximación.

Para fines didácticos nos parece suficiente el estudio del mecanismo planteando como datos los ángulos de los eslabones, o cualquier variable que permita un estudio práctico del cuerpo.

3.2 Momento de inercia

Un CR en rotación es una masa en movimiento, el CR se compone de n partículas con masas m_1, m_2, \dots , a distancias r_1, r_2, \dots , del eje de rotación, la rapidez de una i -ésima masa está dada por:

$$v_i = r_i \omega \quad (3.25)$$

Donde:

v_i : Velocidad lineal, m/s

r_i : Distancia, m

ω : Velocidad angular, rad/s

Cada partícula tiene diferentes valores de r_i pero velocidad angular idéntica, por lo que la energía cinética del cuerpo está dado por:

$$K = \frac{1}{2} m_i v_i^2 = \frac{1}{2} (\sum_i m_i r_i^2) \omega^2 \quad (3.26)$$

La cantidad en paréntesis denota el momento de inercia (I) que depende de la distribución espacial de la masa del cuerpo.

$$I = \sum_i m_i r_i^2 \quad (3.27)$$

En un CR las distancias r_i son constantes y el momento de inercia es independiente de cómo gira el cuerpo en torno al eje dado, entre más ligero sea el eslabón menor será su momento de inercia y a su vez menor energía cinética, entonces será más fácil moverlo, así como detenerlo, con respecto a su rotación en un eje. [4]

Existen tablas que nos proporcionan el momento de inercia de varias formas uniformes y comunes en términos de su masa y dimensión, como barras circulares sólidas y huecas, esferas y placas rectangulares, a través de su centro de masa, si queremos considerar I en un eje distinto y paralelo al eje central, debemos aplicar el teorema de los ejes paralelos, el cual nos permite conocer I en un eje desplazado una distancia d .

$$I_p = I_{cm} + Md^2 \quad (3.28)$$

Donde:

I_p : Inercia paralela, $kg \cdot m^2$

I_{cm} : Inercia centro de masa, $kg \cdot m^2$

M : Masa del CR, kg

d : Distancia ente el eje central y el eje paralelo, m

4 Manual de usuario del manipulador SCARA

Entro de este capítulo se explica y ejemplifica el lenguaje de programación de alto nivel utilizado, y la manera de vincularlo con los propulsores utilizados. Ya recabados todos los fundamentos necesarios, se procede al diseño de la estructura del manipulador. Para la cual se presentan planos y ensambles que describen la manufactura del mismo.

4.1 Lenguaje y programación Arduino

Al igual que cualquier lenguaje de programación de alto nivel, Arduino® ofrece librerías, bucles, variables y sintaxis para realizar tareas específicas bajo las condiciones que describamos, al descargar el *software* de la página oficial de Arduino, pongamos atención en la ubicación donde se guardará el programa, generalmente se guarda en el disco local, ej: D:// arduino-1.0.4 (Fig 4.1)

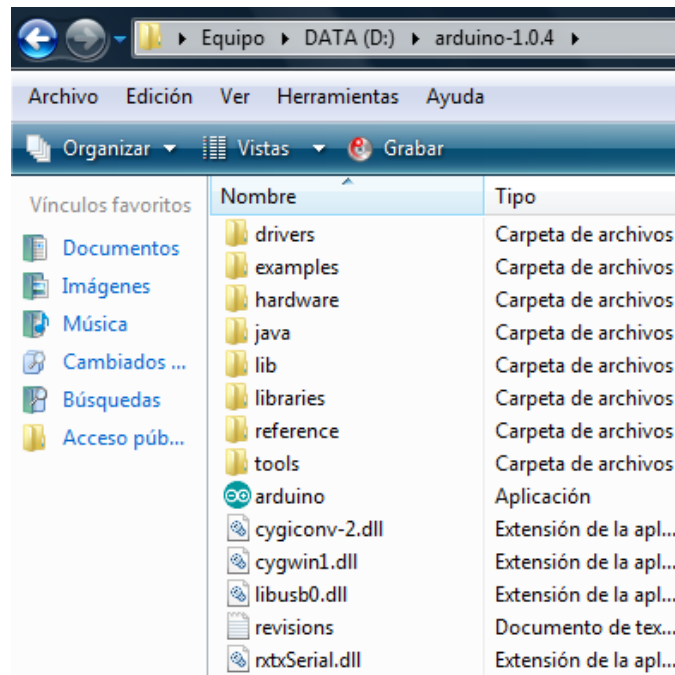


Fig. 4.1 Ubicación de la dirección del *software* Arduino, versión 1.0.4.

antes de correr por primera vez el programa, se debe de reconocer la tarjeta y el puerto serial en la computadora, esto lo logramos en la opción “Administrador de dispositivos”, ubicada en el “panel de

control”, al conectar el *hardware* por primera vez, con el botón derecho de ratón elegimos la opción “USB Device” y enseguida “actualizar controlador”, aparecerá el recuadro de “asistente para actualización de *hardware*”, en esta ventanilla debemos autorizar la búsqueda del *software*, e identificar la ubicación del programa Arduino, en la opción “examinar”(Fig. 4.2), este procedimiento nos garantiza que la computadora reconocerá el *hardware*, si es necesario ubique el nombre y el puerto al que se ha conectado la tarjeta, en la ventanilla de “administrador de dispositivos” en la opción “puertos (COM Y LTP)”(Fig. 4.3).

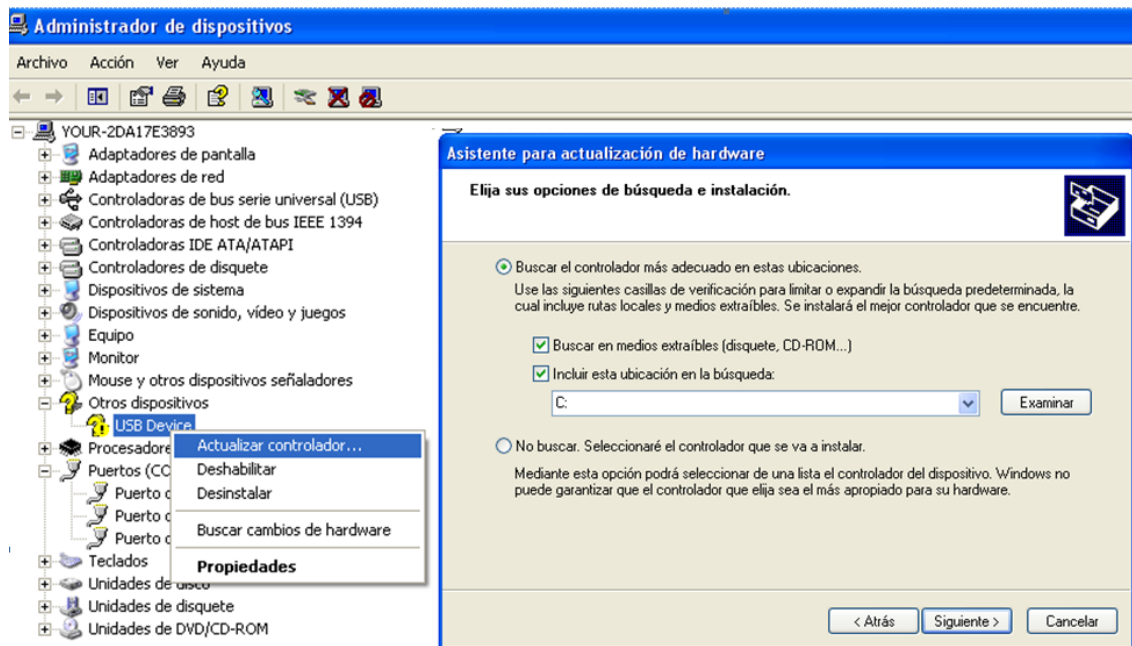


Fig. 4.2 Proceso de reconocimiento del *hardware* a través del ordenador.

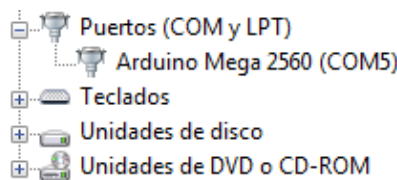


Fig.4.3 *Hardware* reconocido por el ordenador a través de un puerto serial.

Una vez reconocido el *hardware* por la pc, se debe configurar el puerto serial COM al que se está conectado y el tipo de tarjeta elegido de entre la gama de microcontroladores, ambas en la opción de

“herramientas” de la interfaz de Arduino (fig. 4.4) esto nos garantiza que el *software* identificará el *hardware* al compilar una rutina, en este caso se eligió el *hardware* Arduino Mega 2560, esto por contener 52 pines digitales que pueden ser configurados como pin de entrada o salida, de los cuales utilizamos 14, pues utilizamos tres circuitos integrados, los cuales utilizan cuatro pines cada uno, y dos salidas para dos servomotores.

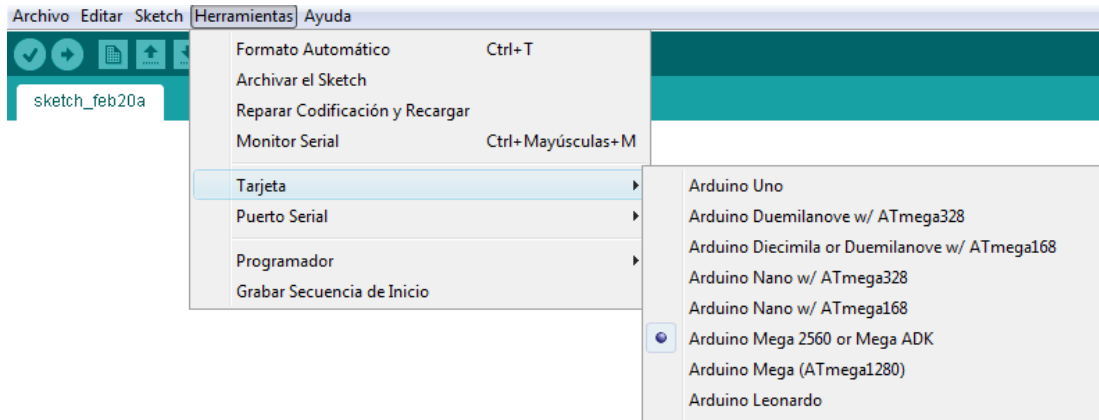


Fig. 4.4 Interfaz del *software* Arduino, elección de la tarjeta Arduino Mega 2560.

Una vez configurado el tipo de tarjeta y el puerto serial, se pueden compilar rutinas para nuestro brazo, las rutinas que utilizamos para las pruebas se presentan en la carpeta nombrada “programas”. Aquí un ejemplo de la programación en el *software* Arduino:

```

#include <Stepper.h>//Librería de control para un motor a pasos unipolar o bipolar.
#include <Servo.h>//librería de control para un servomotor.
#define STEPS 200// define el numero de pasos para que el motor gire 360°.

Stepper stepper1(STEPS, 2, 3, 4, 5); //lectura del número de pasos definidos(200), así como los
//números de pin de la tarjeta con los que está asociado el puente H para dar movimiento al motor
Servo servo;// creamos un objeto de nombre servo.

void setup();//inicia variables, establece el estado de los pines e inicia librerías.

{
stepper1.setSpeed(100);// Velocidad del motor a pasos en revoluciones por minutos.
servo.attach(6, 771, 1750);//variable de tipo servo (pin, min, max).
// pin: número de pin de la tarjeta con el que el servo está asociado.
// min: ancho de pulso en microsegundos, correspondiente al ángulo mínimo del servo, por defecto 544.
// max: ancho de pulso en microsegundos, correspondiente al ángulo máximo del servo, por defecto 2400.
}

void loop();//ejecución continua del programa.

{
stepper1.step(1800);//mueve el motor 1800 pasos.
delay(500);// espera 500 ms.
servo.write(180);//mueve el servomotor 180 grados.
delay(1500);// espera 1500 ms.
stepper1.step(-1800);//mueve el motor en sentido negativo 1800 pasos, regresa al origen.
delay(500);// espera 500 ms.
servo.write(0);//mueve el servomotor a cero, regresa al origen.
delay(1500);// espera 1500 ms.
}

```

Fig.4.5Ejemplo Movimiento de un motor a pasos y un servomotor con Arduino.

4.2 Vinculación electrónica, impulsores y software de control

La vinculación consiste en la comunicación del *software* Arduino a una plataforma Arduino Mega mediante un bus serial USB, con el fin de que Arduino Mega emita señales a dos servomotores y a tres circuitos integrados que alimentaran a su vez a tres propulsores *Stepper Motors*. El servomotor tiene tres hilos, (alimentación, tierra y señal) el hilo de señal es blanco o amarillo y debe ser conectado al pin previamente asignado. El motor a pasos tiene de cuatro a seis hilos, cuatro de los hilos alimentan a dos bobinas del motor, es decir, un par de hilos alimentan una primer bobina y otro par de hilos alimentan una segunda bobina. Se pueden identificar los pares de hilos para cada bobina tomando lectura de los homnios de la bobina con ayuda de un multímetro, pues es difícil identificar por colores cada par de hilos, el tercer par de hilos proporcionan la alimentación de voltaje al motor. El movimiento en conjunto de los impulsores dará movimiento a las articulaciones del manipulador, todo conectado a través de una fuente de poder de PC.

En un principio se realizaron pruebas de control y movimiento en una tablilla protoboard simulando una tarjeta con cuatro integrados L293D, esto para pruebas de velocidad y carga en los motores, con la ventaja de que cualquier elemento de la protoboard es reemplazable al momento en caso de falla de cualquier tipo.

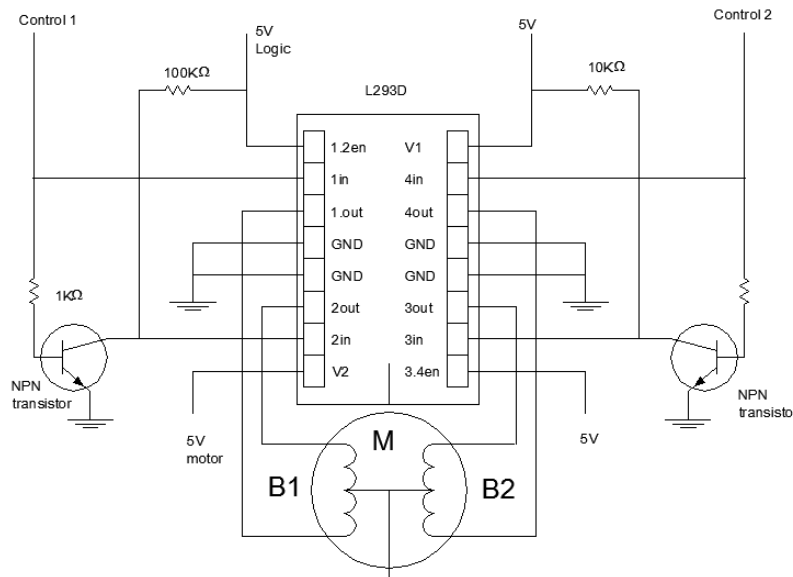


Fig. 4.6 Vinculación electrónica, *software* e impulsores, prueba

Controlados los motores se reemplazan los integrados L293D, por tarjetas con circuitos integrados L298N, pues las tarjetas disponibles en el mercado nacional, contienen disipadores de calor, salidas para señales TTL (*Transistor – Transistor Logic*) lógica transistor a transistor, que permiten controlar el sentido de giro y velocidad, a través del controlador Arduino.

Hemos nombrado los motores utilizados y previamente programados, según su función y ubicación en el manipulador como: M1, M2, M3, S1, S2, en las siguientes tablas se muestran las especificaciones de operación y programación para cada motor, es muy importante precisar que si se desea operar el manipulador se sigan rigurosamente las instrucciones de trabajo, pues cualquier alteración podría modificar el funcionamiento del mismo, así como la seguridad del operador.

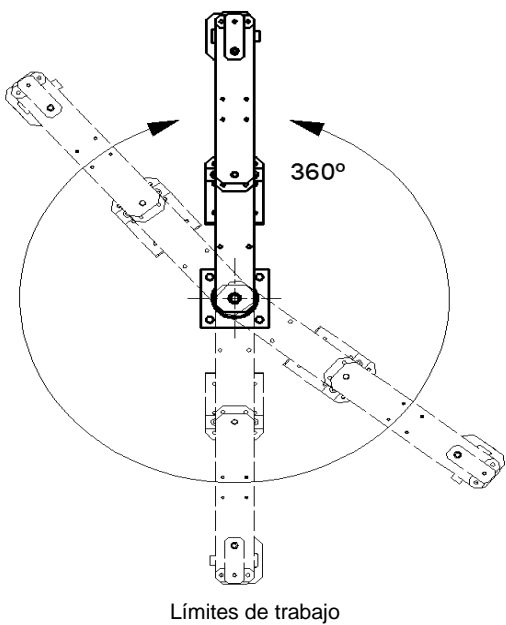
Especificaciones “Motor a pasos” Flecha transmisión 1															
Motor M1	Reducción														
5V 1.5A 3.4Ω 1.8°/paso 200pasos/rev 0-100 rpm KP56LM2G-001	Tren de engranes rectos 18:1 0.1°/paso 3600pasos/rev														
Recomendaciones de programación															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pasos</th> <th>Posición</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0° Origen</td> </tr> <tr> <td>3600</td> <td>360°, una revolución sentido horario</td> </tr> <tr> <td>-3600</td> <td>360°, una revolución sentido antihorario regresa al origen</td> </tr> <tr> <td>-3600</td> <td>360°, una revolución sentido antihorario</td> </tr> <tr> <td>3600</td> <td>360°, una revolución sentido horario regresa al origen</td> </tr> </tbody> </table>	Pasos	Posición	0	0° Origen	3600	360°, una revolución sentido horario	-3600	360°, una revolución sentido antihorario regresa al origen	-3600	360°, una revolución sentido antihorario	3600	360°, una revolución sentido horario regresa al origen	Velocidad recomendada 30 rpm		
Pasos	Posición														
0	0° Origen														
3600	360°, una revolución sentido horario														
-3600	360°, una revolución sentido antihorario regresa al origen														
-3600	360°, una revolución sentido antihorario														
3600	360°, una revolución sentido horario regresa al origen														
Bobina B1 Hilos : verde y blanquiverde Bobina B2 Hilos : rojo y blanquirrojo Común Hilos: blanco y negro		Extensión Las bobinas del motor están conectados a una extensión de cable flexible 4x22 awg, que contiene cuatro cables de color verde, blanco, rojo y negro, soldados a las bobinas del motor, el código de colores que se conecta al Puente H queda como:	<table border="1"> <thead> <tr> <th>B1</th> <th>Cable</th> <th>B2</th> <th>Cable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Verde</td> <td>Verde</td> <td>Rojo</td> <td>Rojo</td> </tr> <tr> <td>Blanquiverde</td> <td>Blanco</td> <td>Blanquirrojo</td> <td>Negro</td> </tr> </tbody> </table>	B1	Cable	B2	Cable	Verde	Verde	Rojo	Rojo	Blanquiverde	Blanco	Blanquirrojo	Negro
B1	Cable	B2	Cable												
Verde	Verde	Rojo	Rojo												
Blanquiverde	Blanco	Blanquirrojo	Negro												
Observaciones. <ul style="list-style-type: none"> • Conectar la bobina B1 en OUT 1 y OUT 2, así como B2 en OUT 3 y OUT 4, del integrado PH1, de lo contrario se invertirá el sentido de giro de los motores. • Para alimentar el motor y el integrado utilice una sola salida de voltaje de la fuente de poder, no conecte en serie con otros motores. • Una vez alimentado el circuito como lo ilustra la fig.4.7 “no girar la flecha manualmente”, pues esto dañará el circuito. • No se recomienda rebasar los límites de trabajo, programar más de 360° en sentido horario y antihorario puede dañar la estructura. • En caso de ser necesario posicionar los eslabones manualmente, se recomienda desconectar la fuente de poder y la tarjeta del ordenador antes de cualquier movimiento. • Despejar el área de trabajo del manipulador, la obstaculización puede dañar la estructura del manipulador • No detener la rutina antes del paro total del mecanismo. • En caso de requerir cambiar el motor por uno diferente, se recomienda la fabricación de un cople de transmisión, así como de elementos auxiliares, basándose en los dibujos normalizados del capítulo cinco. 															

Tabla 4.1, M1 “Motor de flecha de transmisión 1”

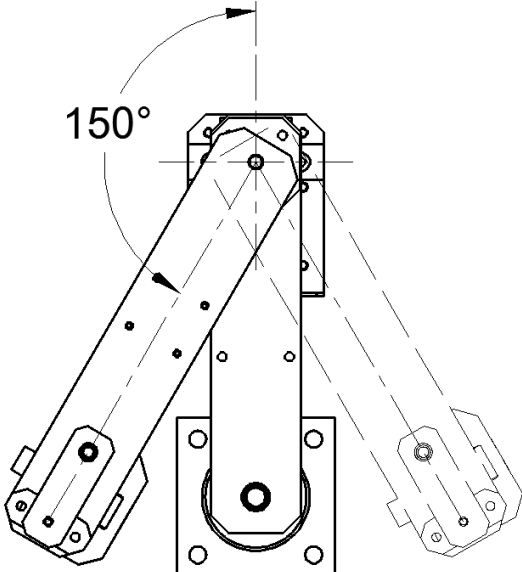
Especificaciones “Motor a pasos” Flecha transmisión 2														
Motor M2		Reducción												
5V 1.5A 7.5Ω 1.8°/paso 200pasos/rev 0-100 rpm LA23BCK-11G2		Tren de engranes 16:1 0.111940°/paso 3216 pasos/rev												
Recomendaciones de programación														
Pasos	Posición													
0	0° Origen													
1340	150°, 5/12 de revolución sentido horario													
-1340	150°, 5/12 de revolución sentido antihorario regresa al origen													
-1340	150°, 5/12 de revolución sentido antihorario													
1340	150°, 5/12 de revolución sentido horario regresa al origen													
Velocidad recomendada 30 rpm														
		 <p>Límites de trabajo</p>												
<p>Bobina B1 Hilos : verde y blanquiverde</p> <p>Bobina B2 Hilos : rojo y blanquirrojo</p> <p>Común Hilos: blanco y negro</p>		<p>Extensión Las bobinas del motor están conectados a una extensión de cable flexible 4x22 awg, que contiene cuatro cables de color verde, blanco, rojo y negro, soldados a las bobinas del motor, el código de colores que se conecta al Puente H queda como:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>B1</th> <th>Cable</th> <th>B2</th> <th>Cable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Verde</td> <td>Verde</td> <td>Rojo</td> <td>Rojo</td> </tr> <tr> <td>Blanquiverde</td> <td>Blanco</td> <td>Blanquirrojo</td> <td>Negro</td> </tr> </tbody> </table>	B1	Cable	B2	Cable	Verde	Verde	Rojo	Rojo	Blanquiverde	Blanco	Blanquirrojo	Negro
B1	Cable	B2	Cable											
Verde	Verde	Rojo	Rojo											
Blanquiverde	Blanco	Blanquirrojo	Negro											
Observaciones.														
<ul style="list-style-type: none"> • Conectar la bobina B1 en OUT 1 y OUT 2, así como B2 en OUT 3 y OUT 4, del integrado PH2, de lo contrario se invertirá el sentido de giro de los motores. • Para alimentar el motor y el integrado utilice una sola salida de voltaje de la fuente de poder, no conecte en serie con otros motores. • Una vez alimentado el circuito como lo ilustra la fig.4.7 “no girar la flecha manualmente”, pues esto dañará el circuito. • No se recomienda rebasar los límites de trabajo, programar más de 150° en sentido horario y antihorario puede dañar la estructura. • En caso de ser necesario posicionar los eslabones manualmente, se recomienda desconectar la fuente de poder y la tarjeta del ordenador antes de cualquier movimiento. • Despejar el área de trabajo del manipulador, la obstaculización puede dañar la estructura del manipulador • No detener la rutina antes del paro total del mecanismo. • En caso de requerir cambiar el motor por uno diferente, se recomienda la fabricación de un cople de transmisión, así como de elementos auxiliares, basándose en los dibujos normalizados del capítulo cinco. 														

Tabla 4.2, M2 “Motor de flecha de transmisión 2”

Especificaciones “Motor a pasos” Guía lineal														
Motor M1	Reducción													
5V 1.5A 32.5Ω 1.855675°/paso 194 pasos/rev 0-140 rpm 42SHM-32M6A	1.7:1 Polea 34 dts Polea 20 dts Banda 108 dts 329.8 pasos/rev													
Recomendaciones de programación														
Pasos	Posición													
0	0° Origen													
23 184	100 mm, eje Y Positivo, (sube) revoluciones sentido horario													
-23 184	100 mm, eje Y negativo, (baja) revoluciones sentido antihorario													
	Regresa al origen ALTURA MAXIMA 350 mm.													
Velocidad recomendada 140 rpm		Límites de trabajo												
Bobina B1 Hilos : rojo y café Bobina B2 Hilos : amarillo y azul Común Hilos: blanco y negro		Extensión Las bobinas del motor están conectados a una extensión de cable flexible 4x22 awg, que contiene cuatro cables de color verde, blanco, rojo y negro, soldados a las bobinas del motor, el código de colores que se conecta al Puente H queda como: <table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 20px;"> <tr><td>B1</td><td>Cable</td></tr> <tr><td>Rojo</td><td>Rojo</td></tr> <tr><td>Café</td><td>Negro</td></tr> </table> <table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>B2</td><td>Cable</td></tr> <tr><td>Amarillo</td><td>Verde</td></tr> <tr><td>Azul</td><td>Blanco</td></tr> </table>	B1	Cable	Rojo	Rojo	Café	Negro	B2	Cable	Amarillo	Verde	Azul	Blanco
B1	Cable													
Rojo	Rojo													
Café	Negro													
B2	Cable													
Amarillo	Verde													
Azul	Blanco													
Observaciones. <ul style="list-style-type: none"> • Conectar la bobina B1 en OUT 1 y OUT 2, así como B2 en OUT 3 y OUT 4, del integrado PH3, de lo contrario se invertirá el sentido de giro de los motores. • Para alimentar el motor y el integrado utilice una sola salida de voltaje de la fuente de poder, no conecte en serie con otros motores. • Una vez alimentado el circuito como lo ilustra la fig.4.7 “no girar la flecha manualmente”, pues esto dañará el circuito. • No se recomienda rebasar los límites de trabajo, programar más de 350 mm puede dañar la estructura. • En caso de ser necesario posicionar los eslabones manualmente, se recomienda desconectar la fuente de poder y la tarjeta del ordenador antes de cualquier movimiento. • Despejar el área de trabajo del manipulador, la obstaculización puede dañar la estructura del manipulador • No detener la rutina antes del paro total del mecanismo. • En caso de requerir cambiar el motor por uno diferente, se recomienda la fabricación de un cople de transmisión, así como de elementos auxiliares, basándose en los dibujos normalizados del capítulo cinco. 														

Tabla 4.3, M3 “Motor de guía lineal”

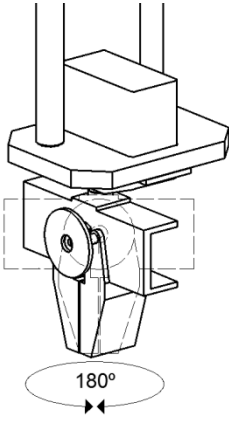
Especificaciones “Servomotor” rotación de garra											
Servomotor S1											
5V 3.2Kg/cm											
Recomendaciones de programación											
Grados	Posición										
15	0° Origen										
83	90°, Gira flecha del servo sentido horario										
180	180°, Gira la flecha del motor en sentido horario										
83	90°, Gira flecha del servo sentido horario										
 <p style="text-align: center;">180° Límites de trabajo</p>											
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p style="text-align: center;">Alimentación Hilo: rojo Tierra Hilo: negro Señal Hilo: Blanco</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Extensión Los hilos del servomotor están conectados a una extensión de cable flexible 4x22 awg, que contiene cuatro cables de color verde, blanco, rojo y negro, soldados a los hilos del motor, el código de colores que se conecta al Puente H queda como:</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Servomotor S1</th> <th>cable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rojo</td> <td>Rojo</td> </tr> <tr> <td>Negro</td> <td>Negro</td> </tr> <tr> <td>Blanco</td> <td>Blanco(externo)</td> </tr> </tbody> </table> </td> </tr> </table>		<p style="text-align: center;">Alimentación Hilo: rojo Tierra Hilo: negro Señal Hilo: Blanco</p>	<p>Extensión Los hilos del servomotor están conectados a una extensión de cable flexible 4x22 awg, que contiene cuatro cables de color verde, blanco, rojo y negro, soldados a los hilos del motor, el código de colores que se conecta al Puente H queda como:</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Servomotor S1</th> <th>cable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rojo</td> <td>Rojo</td> </tr> <tr> <td>Negro</td> <td>Negro</td> </tr> <tr> <td>Blanco</td> <td>Blanco(externo)</td> </tr> </tbody> </table>	Servomotor S1	cable	Rojo	Rojo	Negro	Negro	Blanco	Blanco(externo)
<p style="text-align: center;">Alimentación Hilo: rojo Tierra Hilo: negro Señal Hilo: Blanco</p>	<p>Extensión Los hilos del servomotor están conectados a una extensión de cable flexible 4x22 awg, que contiene cuatro cables de color verde, blanco, rojo y negro, soldados a los hilos del motor, el código de colores que se conecta al Puente H queda como:</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Servomotor S1</th> <th>cable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rojo</td> <td>Rojo</td> </tr> <tr> <td>Negro</td> <td>Negro</td> </tr> <tr> <td>Blanco</td> <td>Blanco(externo)</td> </tr> </tbody> </table>	Servomotor S1	cable	Rojo	Rojo	Negro	Negro	Blanco	Blanco(externo)		
Servomotor S1	cable										
Rojo	Rojo										
Negro	Negro										
Blanco	Blanco(externo)										
<p>Observaciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para posicionar la garra en paralelo c/r al eslabón dos se debe programar con las especificaciones, de lo contrario se tendrá un pequeño desfase. • Conectar el servomotor al pin con señal PWM asignado de la tarjeta. • Para alimentar el servomotor utilice una sola salida de voltaje de la fuente de poder, no conecte en serie con otros motores. • Una vez alimentado el circuito como lo ilustra la fig.4.7 “no girar la flecha manualmente”, pues esto dañará el circuito. • No se recomienda rebasar los límites de trabajo, programar más de 180° puede dañar la estructura. • En caso de ser necesario posicionar los eslabones manualmente, se recomienda desconectar la fuente de poder y la tarjeta del ordenador antes de cualquier movimiento. • Despejar el área de trabajo del manipulador, la obstaculización puede dañar la estructura del manipulador • No detener la rutina antes del paro total del mecanismo. • En caso de requerir cambiar el servomotor, se recomienda un servomotor no menor a lo que indican las especificaciones de S1. 											

Tabla 4.4, S1 “Servomotor de rotación de garra”

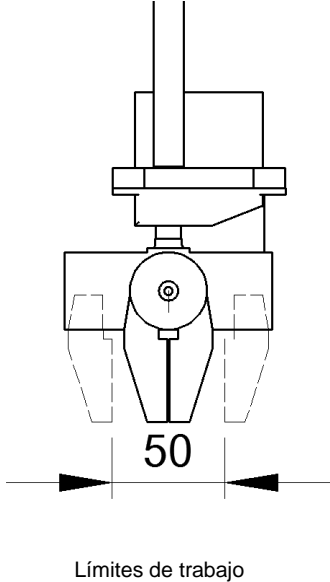
Especificaciones “Servomotor” acción de garra											
Servomotor S2											
5V 3.2Kg/cm											
Recomendaciones de programación											
Grados	Posición										
0	50 mm abertura máxima										
145	0 mm Gira flecha del servo sentido horario 145° para cerrar en su totalidad la flecha.										
0	Abertura máxima de la garra										
	Abertura Máxima 50mm										
											
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p style="text-align: center;">Alimentación</p> <p style="text-align: center;">Hilo: rojo Tierra</p> <p style="text-align: center;">Hilo: negro Señal</p> <p style="text-align: center;">Hilo: Blanco</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Extensión</p> <p>Los hilos del servomotor están conectados a una extensión de cable flexible 4x22 awg, que contiene cuatro cables de color verde, blanco, rojo y negro, soldados a los hilos del motor, el código de colores que se conecta al Puente H queda como:</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>Servomotor S1</td> <td>cable</td> </tr> <tr> <td>Rojo</td> <td>Blanco</td> </tr> <tr> <td>Negro</td> <td>Verde</td> </tr> <tr> <td>Blanco</td> <td>Verde(externo)</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>		<p style="text-align: center;">Alimentación</p> <p style="text-align: center;">Hilo: rojo Tierra</p> <p style="text-align: center;">Hilo: negro Señal</p> <p style="text-align: center;">Hilo: Blanco</p>	<p>Extensión</p> <p>Los hilos del servomotor están conectados a una extensión de cable flexible 4x22 awg, que contiene cuatro cables de color verde, blanco, rojo y negro, soldados a los hilos del motor, el código de colores que se conecta al Puente H queda como:</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>Servomotor S1</td> <td>cable</td> </tr> <tr> <td>Rojo</td> <td>Blanco</td> </tr> <tr> <td>Negro</td> <td>Verde</td> </tr> <tr> <td>Blanco</td> <td>Verde(externo)</td> </tr> </table>	Servomotor S1	cable	Rojo	Blanco	Negro	Verde	Blanco	Verde(externo)
<p style="text-align: center;">Alimentación</p> <p style="text-align: center;">Hilo: rojo Tierra</p> <p style="text-align: center;">Hilo: negro Señal</p> <p style="text-align: center;">Hilo: Blanco</p>	<p>Extensión</p> <p>Los hilos del servomotor están conectados a una extensión de cable flexible 4x22 awg, que contiene cuatro cables de color verde, blanco, rojo y negro, soldados a los hilos del motor, el código de colores que se conecta al Puente H queda como:</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>Servomotor S1</td> <td>cable</td> </tr> <tr> <td>Rojo</td> <td>Blanco</td> </tr> <tr> <td>Negro</td> <td>Verde</td> </tr> <tr> <td>Blanco</td> <td>Verde(externo)</td> </tr> </table>	Servomotor S1	cable	Rojo	Blanco	Negro	Verde	Blanco	Verde(externo)		
Servomotor S1	cable										
Rojo	Blanco										
Negro	Verde										
Blanco	Verde(externo)										
Observaciones.											
<ul style="list-style-type: none"> • Para sujetar un objeto se debe considerar por el usuario la carrera de la garra con un apriete no mayor a 2 mm del cuerpo a sujetar, si se aprieta demasiado el motor resultará afectado. • Conectar el servomotor al pin con señal PWM asignado de la tarjeta. • Para alimentar el servomotor utilice una sola salida de voltaje de la fuente de poder, no conecte en serie con otros motores. • Una vez alimentado el circuito como lo ilustra la fig.4.7 “no girar la flecha manualmente”, pues esto dañará el circuito. • No se recomienda rebasar los límites de trabajo, programar más de 180° puede dañar la estructura. • En caso de ser necesario posicionar los eslabones manualmente, se recomienda desconectar la fuente de poder y la tarjeta del ordenador antes de cualquier movimiento. • Despejar el área de trabajo del manipulador, la obstaculización puede dañar la estructura del manipulador • No detener la rutina antes del paro total del mecanismo. • En caso de requerir cambiar el servomotor, se recomienda un servomotor no menor a lo que indican las especificaciones de S2. 											

Tabla 4.5, S2 “Servomotor de acción de garra”

Controlados los motores, podemos describir el movimiento que efectuará el manipulador a través de la programación de cada motor, por lo cual se realizan rutinas de simulación a una aplicación real, anexas en la carpeta "Programas". La manera de vincular todos los elementos es la siguiente:

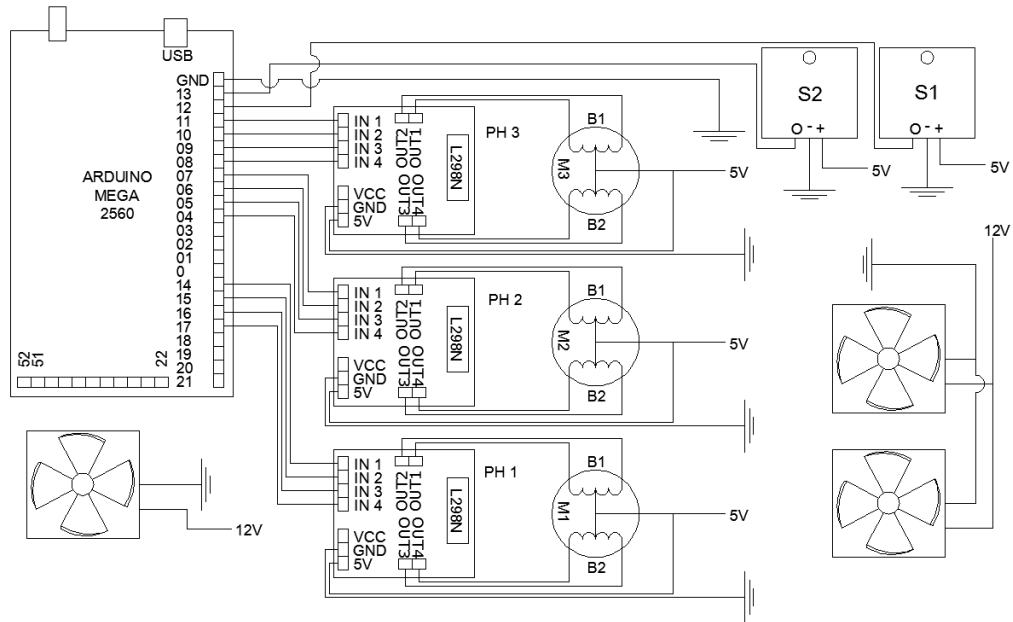


Fig. 4.7 Vinculación electrónica, *software* e impulsores, funcional

Si se conecta de manera adecuada no se tendrán problemas de programación es muy importante conectar de la manera que especifica la Fig. 4.7, de lo contrario se tendrán problemas de control y eficiencia, y la parte electrónica podría averiarse.

5 Manufactura del manipulador

Este capítulo describe la manera en que se manufacturaron cada una de las piezas diseñadas para el manipulador, numeradas en base a los dibujos normalizados.

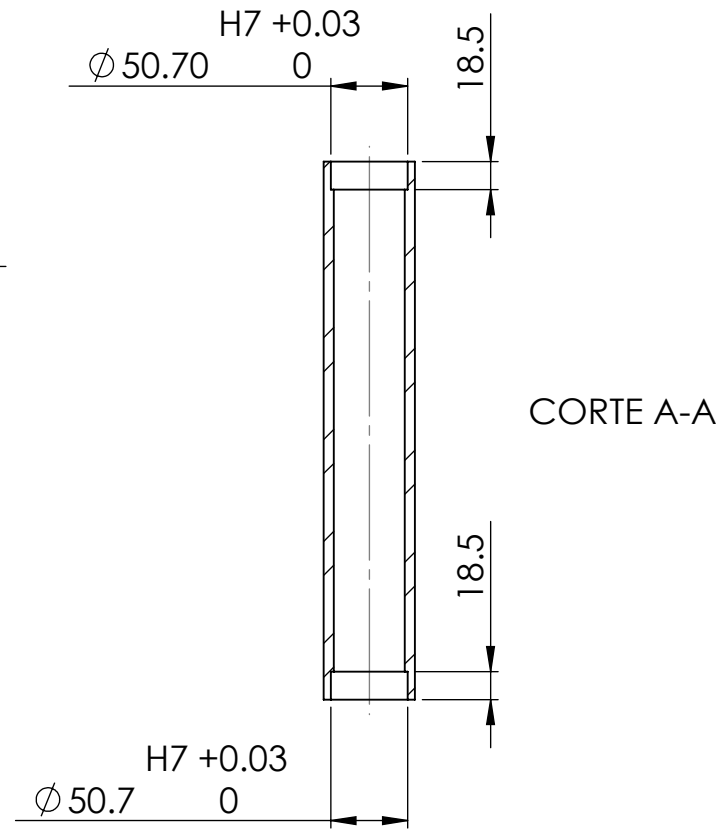
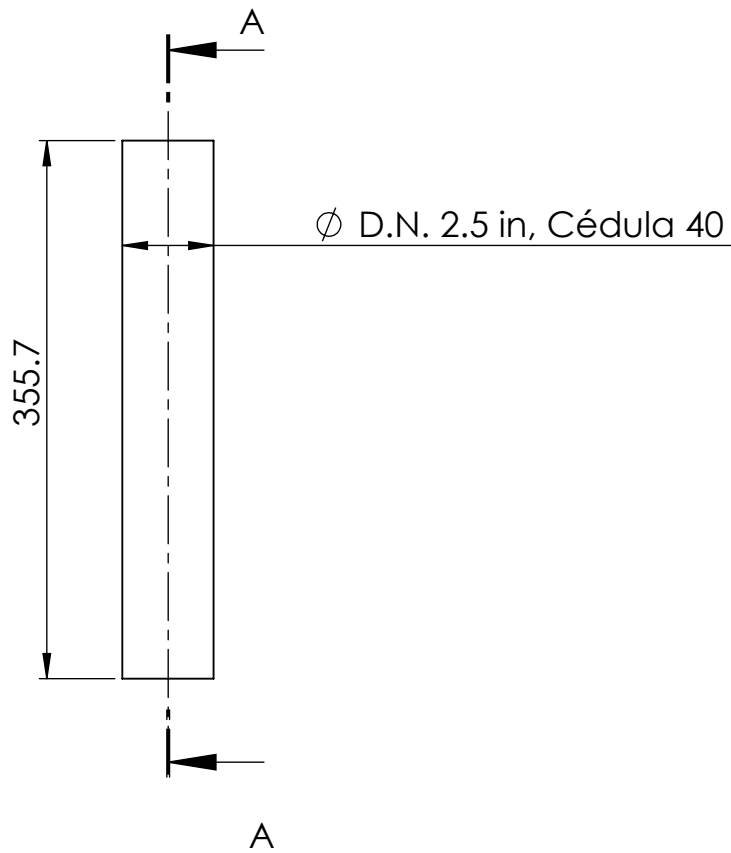
5.1 Análisis y diseño mecánico

En base a la sección 4.2, se diseñan los eslabones y demás elementos del manipulador, considerando las dimensiones de cada uno de los motores, posición de los motores, su sencilla manufactura y el cumplimiento del volumen de trabajo adscrito en los objetivos, así como el uso de materiales ligeros que, como lo redacta el capítulo 3, ofrezcan una estructura robusta y ligera en la cual la inercia de cada eslabón no afecte el impulso o paro del mismo, además permitan el análisis de posición, velocidad y aceleración de cada uno de los elementos, así como manipular y estudiar la posición del efector final.

La intención del diseño del manipulador SCARA refiere una sencilla manufactura, además de que cualquier elemento que se necesite desmontar, por cualquier circunstancia, se desensamble de manera individual, independiente a los demás elementos del manipulador.

5.2 Dibujos normalizados

Todos los dibujos ilustran los componentes mecánicos que en su conjunto forman la estructura del manipulador, aquí se puede consultar cada una de las piezas, ubicadas por nombre, número de la pieza y el montaje al que se le relaciona. Para su manufactura se recomienda ubicar su secuencia de maquinado en el capítulo 5.3



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 10 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 101 Tubo base.

Número de piezas.
1

Material.
A 36

Acabado.
Pintado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

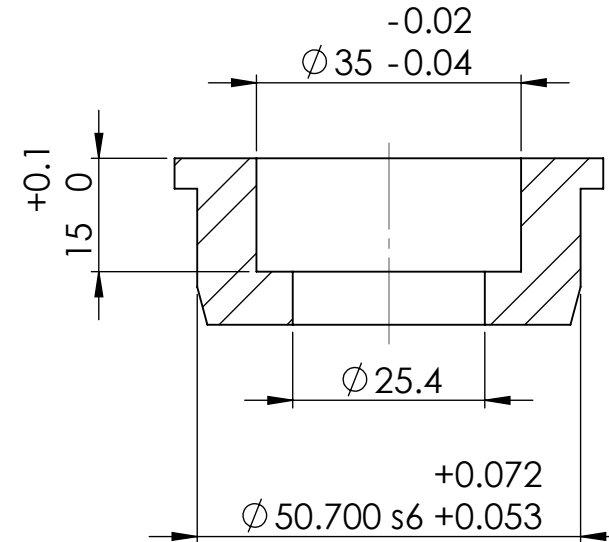
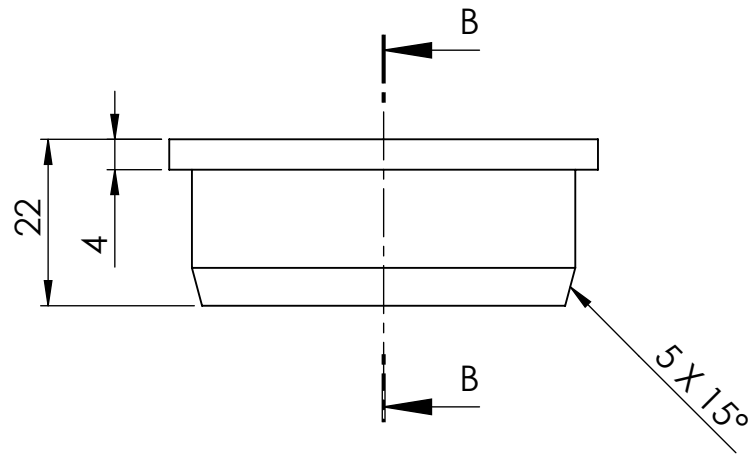
Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

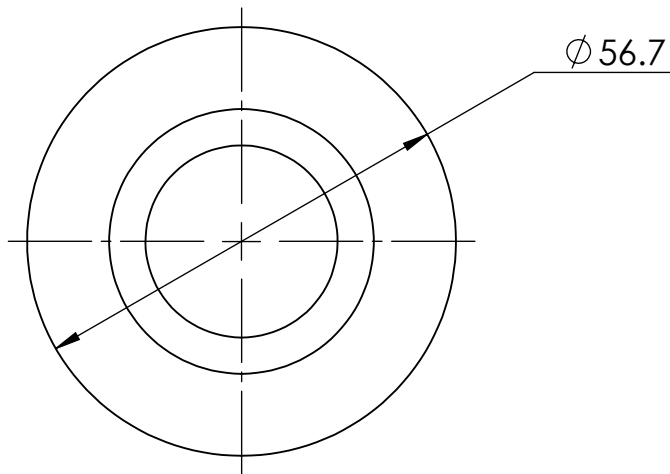
Escala.
1:5

Hoja: 1
de: 1

SC - 001 - A4



CORTE B-B



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 20 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 102 Buje articulación.

Número de piezas.
2

Material.
1018

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

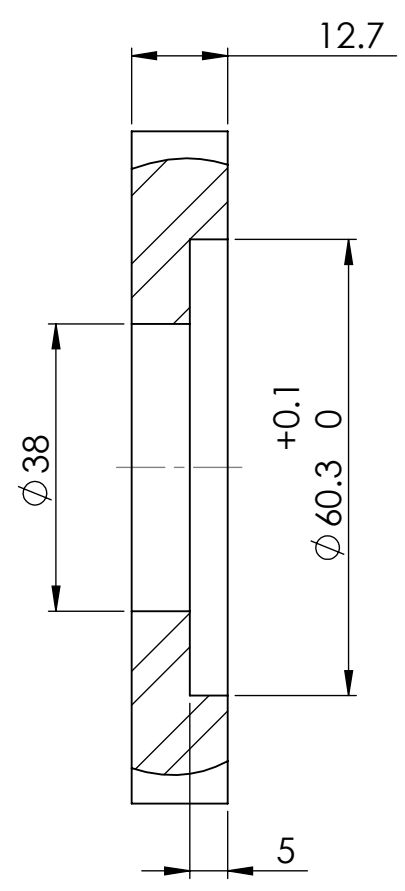
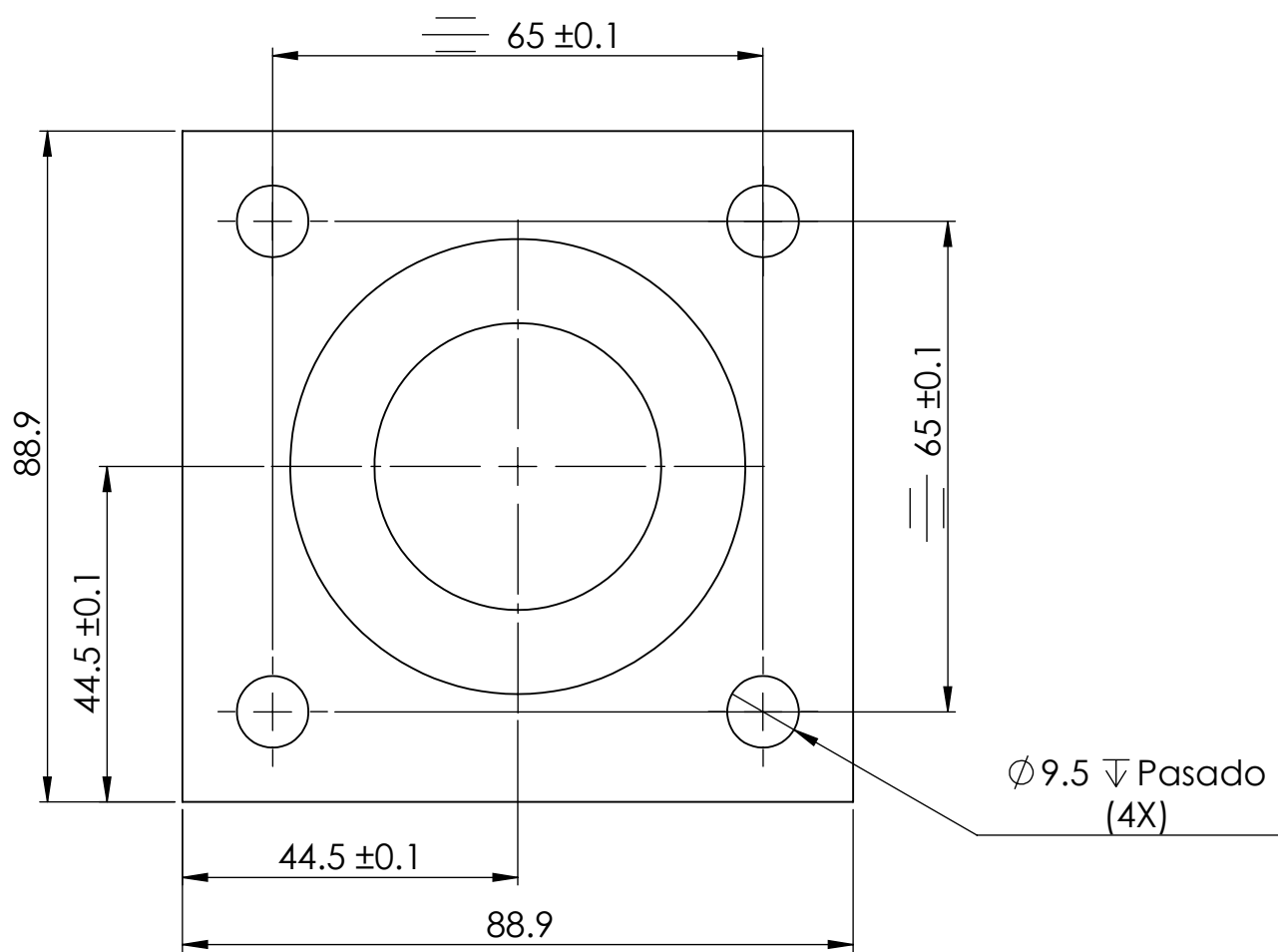
Fecha.
Trím. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
1:1

Hoja: 1
de: 1

SC - 002 - A4



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 30 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 103 Brida base.

Observaciones:

Número de piezas.
1

Cotas.
mm.

Material.
A36

Escala.
1:1

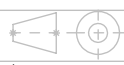
Acabado.
Pintado.

Hoja: 1
de: 1

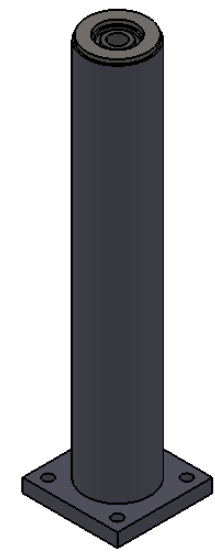
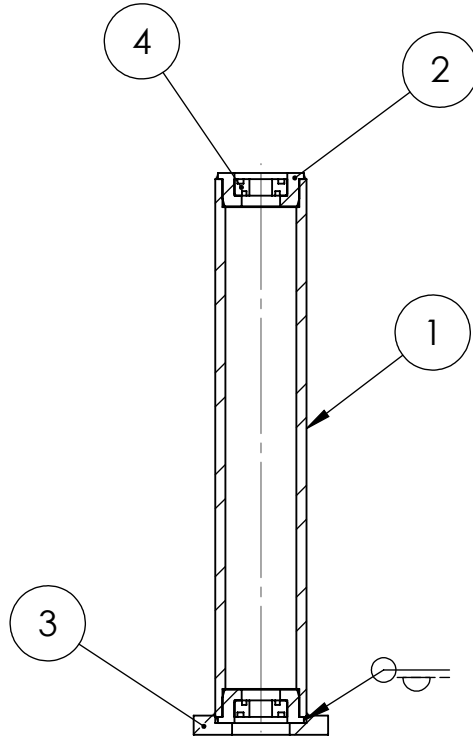
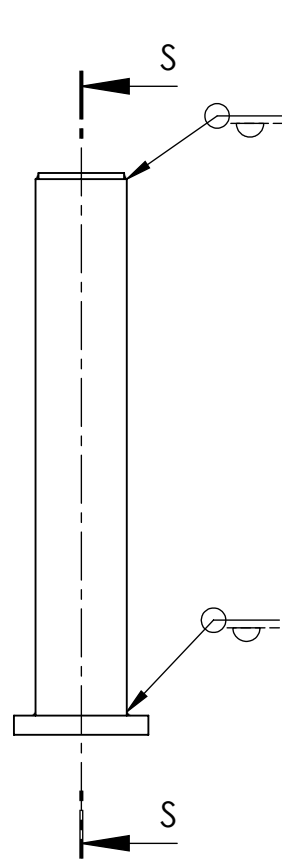
Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

Fecha.
Trim. 14-I

SC - 003 - A4



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LOCALIZACIÓN	CANTIDAD
1	SC 101 Tubo base	SC - 001 - A4	1
2	SC 102 buje articulación 1	SC - 002 - A4	2
3	SC 103 Brida base	SC - 003 - A4	1
4	Rodamiento 15mm	FAG 7602015TVP	2



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

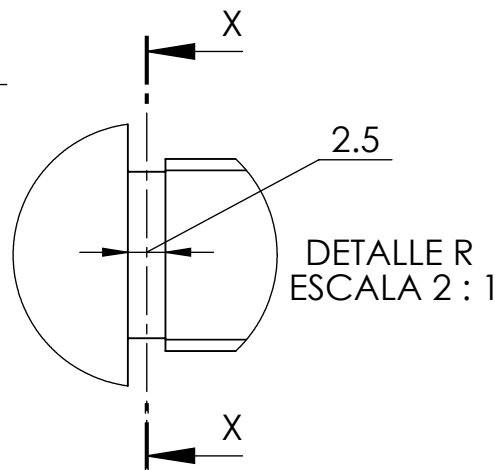
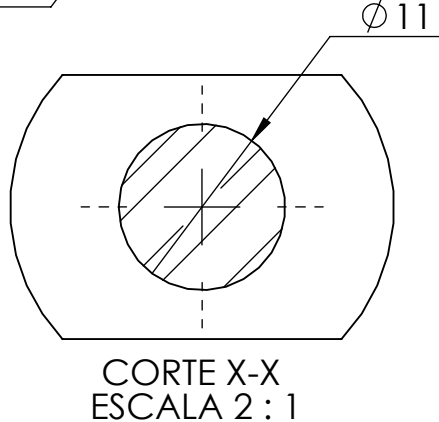
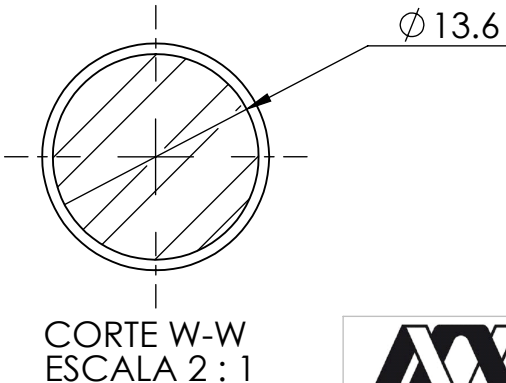
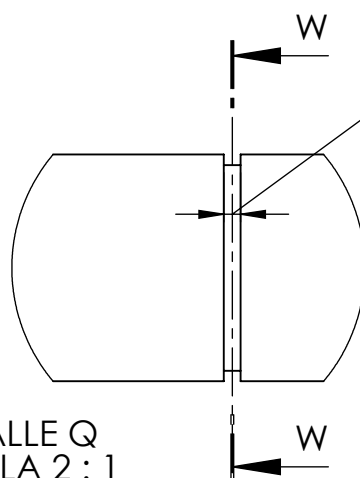
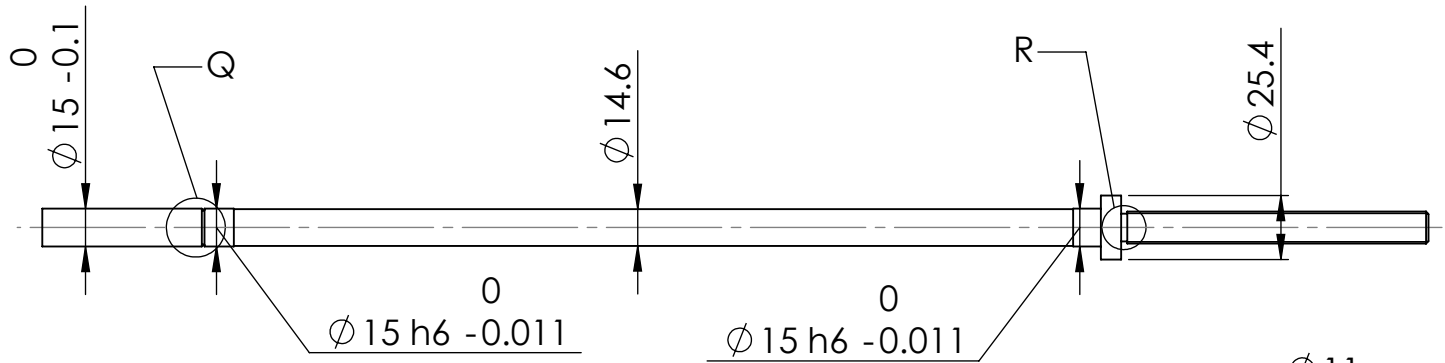
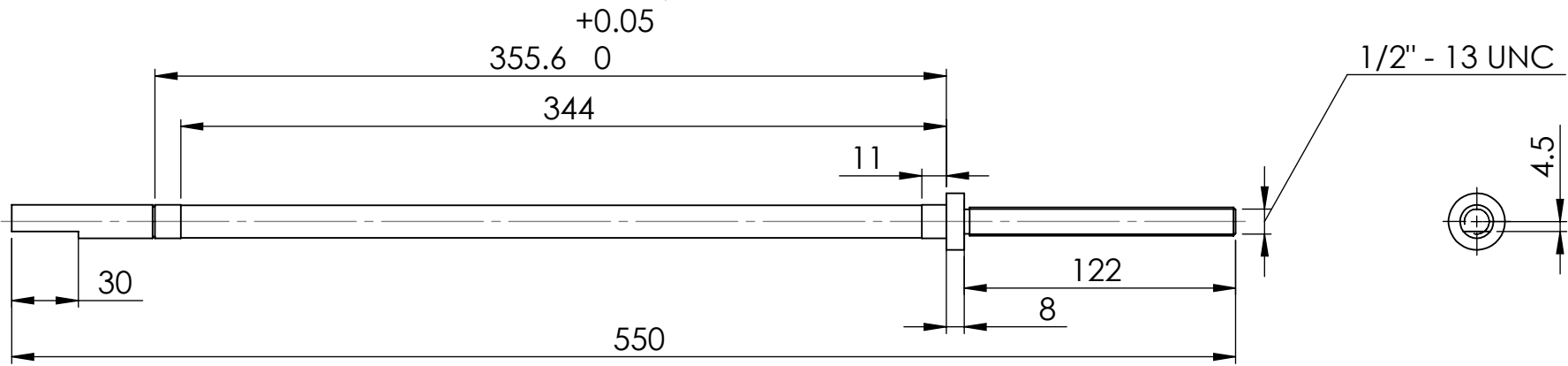
Plano: 40 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC A01 Conjunto Base.

Número de piezas. 1	Material.	Acabado.	
Observaciones:	Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio. Jasso Lua Juan Francisco.	Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.	

Fecha. Trim. 14-I	Escala. 1:5	Hoja: 1 de: 1	SC - 004 - A4
----------------------	----------------	------------------	---------------



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 50 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

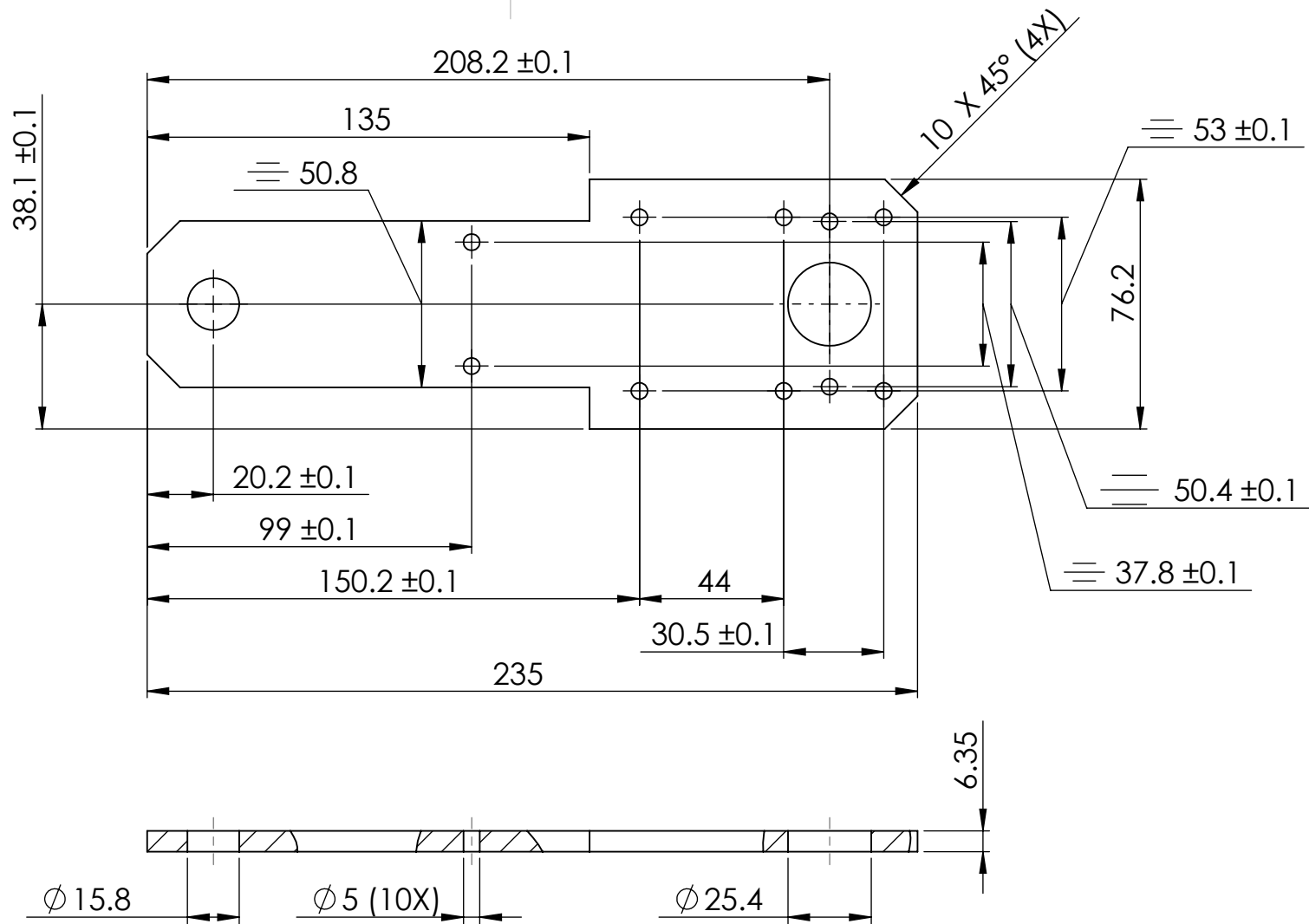
Nombre de la pieza: SC 104 Flecha transmisión 1.

Número de piezas: 1
Material: 1018
Acabado:

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.
Fecha. Trim. 14-I

Cotas. mm.
Escala. 1:3
Hoja: 1 de: 1
SC - 005 - A4



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 60 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 105 Eslabón 1 inf.

Número de piezas.
1

Material.
6061

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

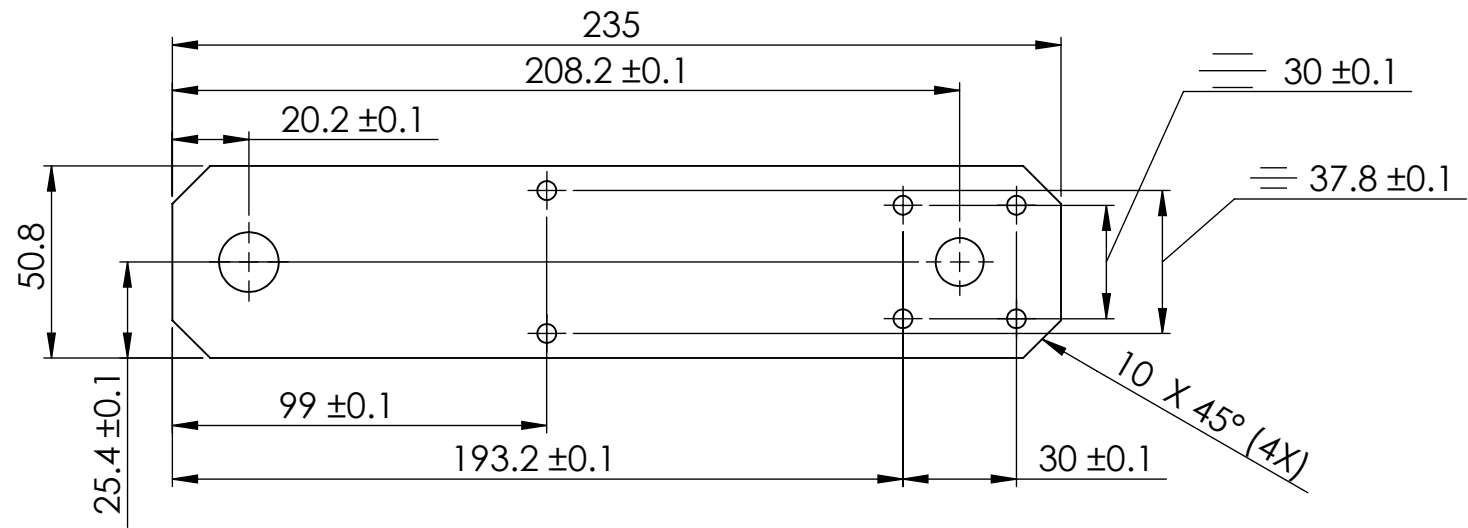
Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
1:2

Hoja: 1
de: 1

SC - 006 - A4



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 70 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 106 Eslabón 1 sup.

Número de piezas.
1

Material.
6061

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

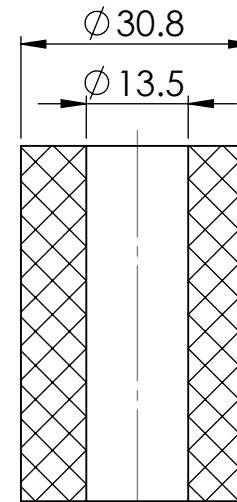
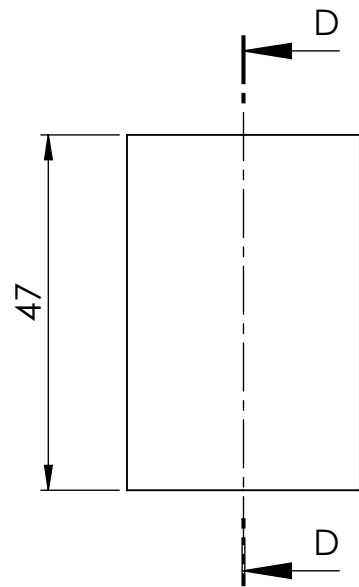
Fecha.
Trím. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
1:2

Hoja: 1
de: 1

SC - 007 - A4



CORTE D-D



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 80 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 107 Camisa.

Número de piezas.
1

Material.
Nylon

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

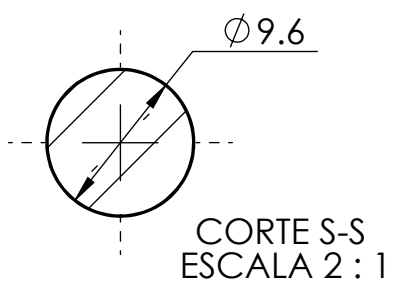
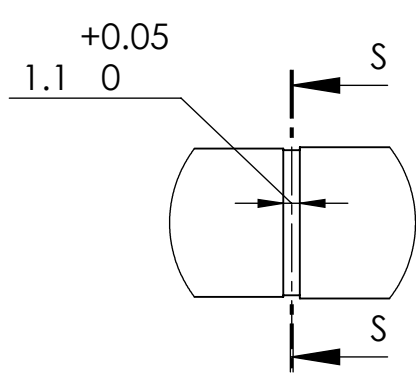
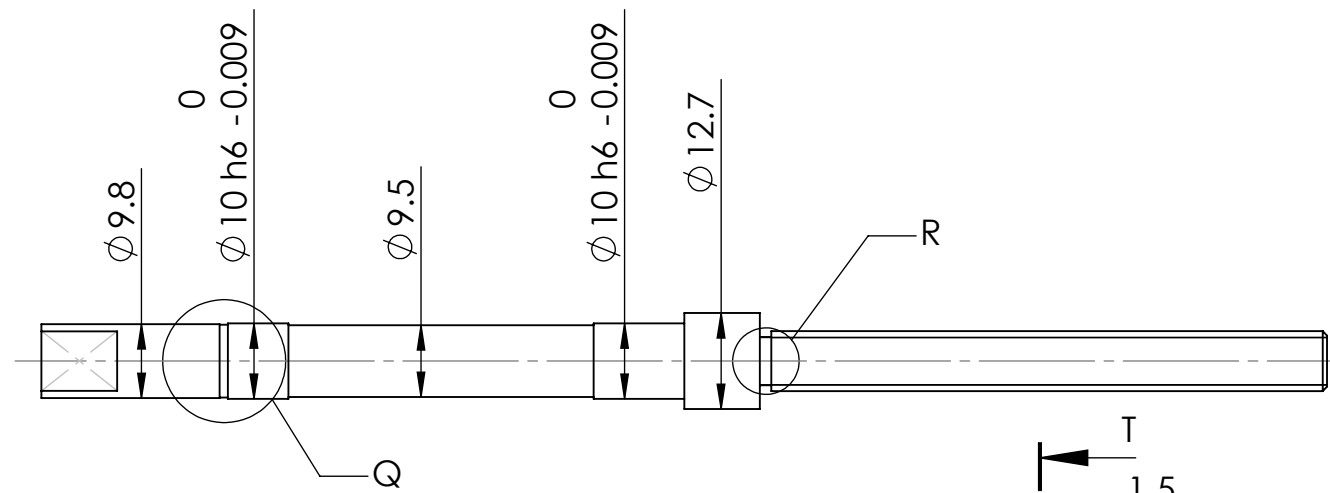
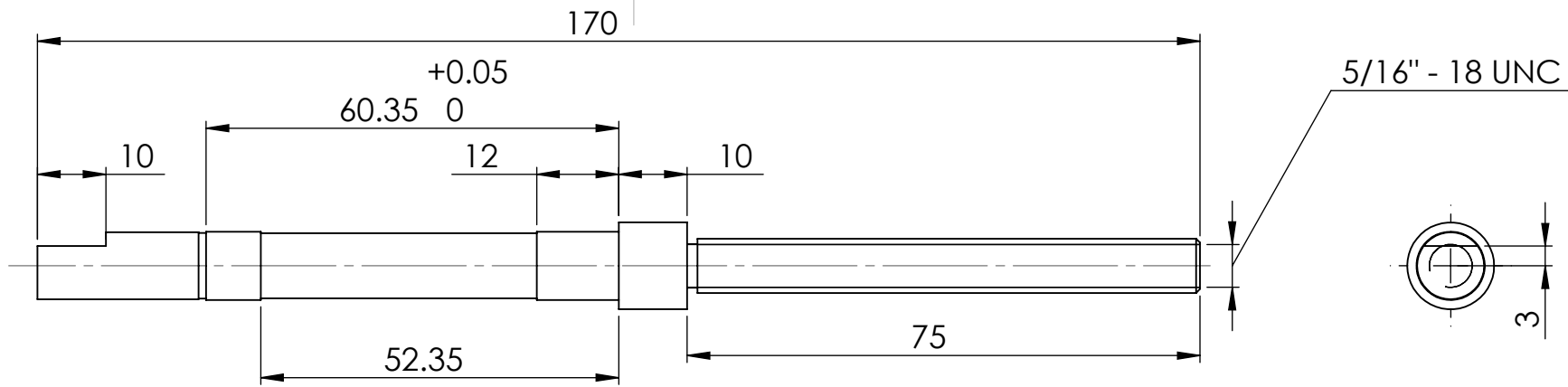
Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

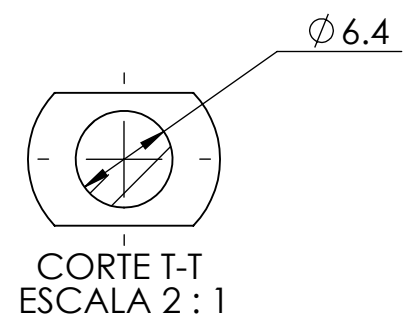
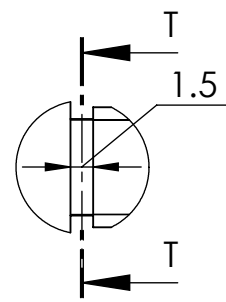
Escala.
1:2

Hoja: 1
de: 1

SC - 008 - A4



DETALLE R
ESCALA 2:1



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

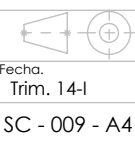
Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano 90 / 350

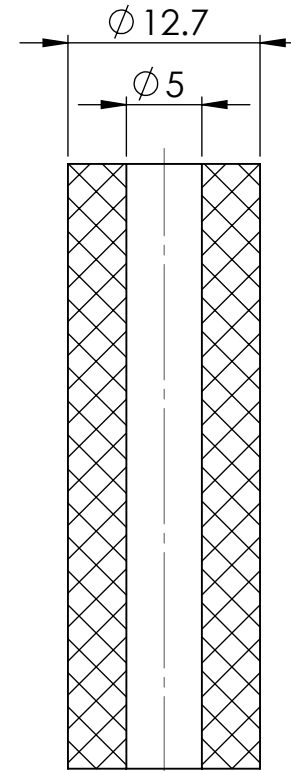
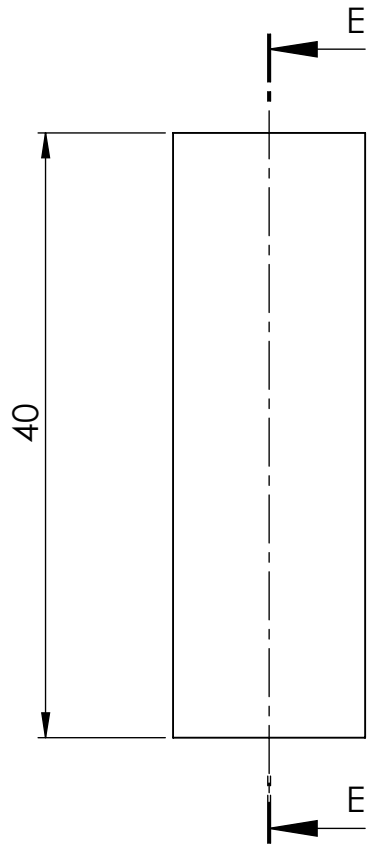
Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 108 Flecha transmisión 2.		Número de piezas: 1	Material: 1018	Acabado:
Observaciones:		Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio. Jasso Lua Juan Francisco.	Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.	Fecha. Trim. 14-I
		Cotas. mm.	Escala. 1:1	Hoja: 1 de: 1

Número de piezas: 1		Material: 1018	Acabado:
Observaciones:		Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio. Jasso Lua Juan Francisco.	Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.
		Cotas. mm.	Escala. 1:1
			Hoja: 1 de: 1



SC - 009 - A4



CORTE E-E



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano 100 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 109 Poste motor 2.

Número de piezas.
4

Material.
Nylon

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

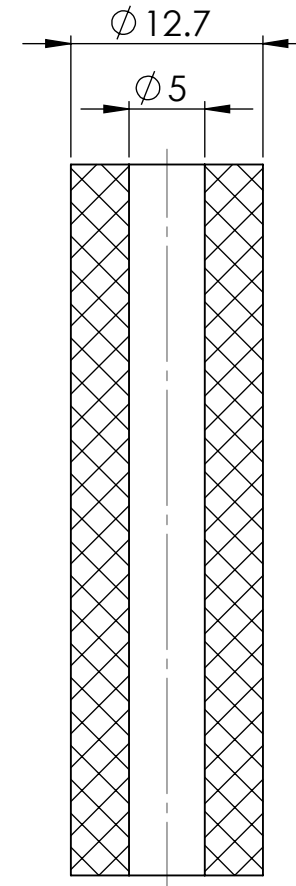
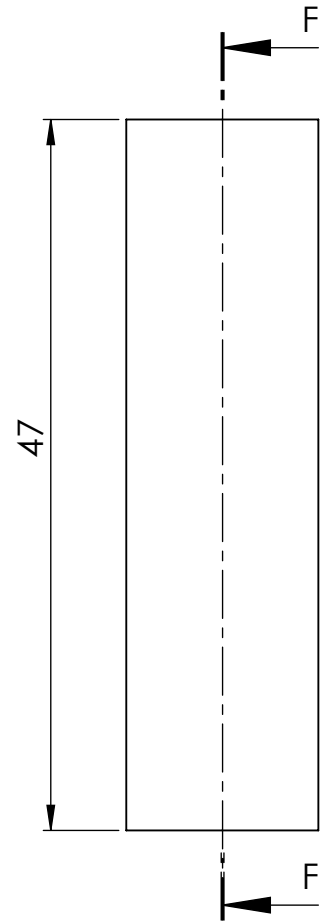
Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
2:1

Hoja: 1
de: 1

SC - 010 - A4



CORTE F-F



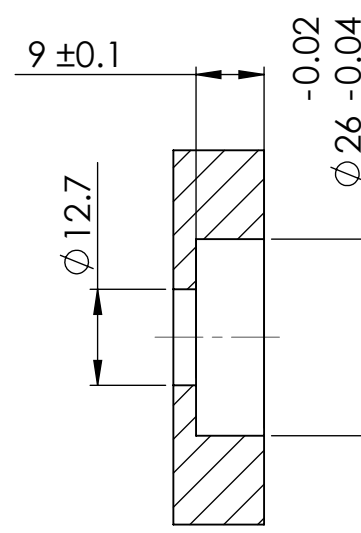
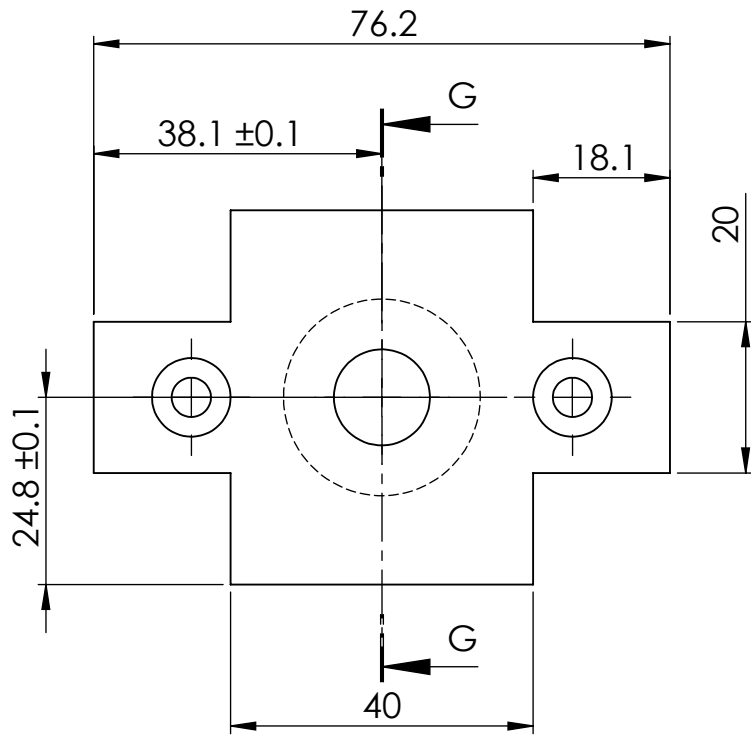
Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

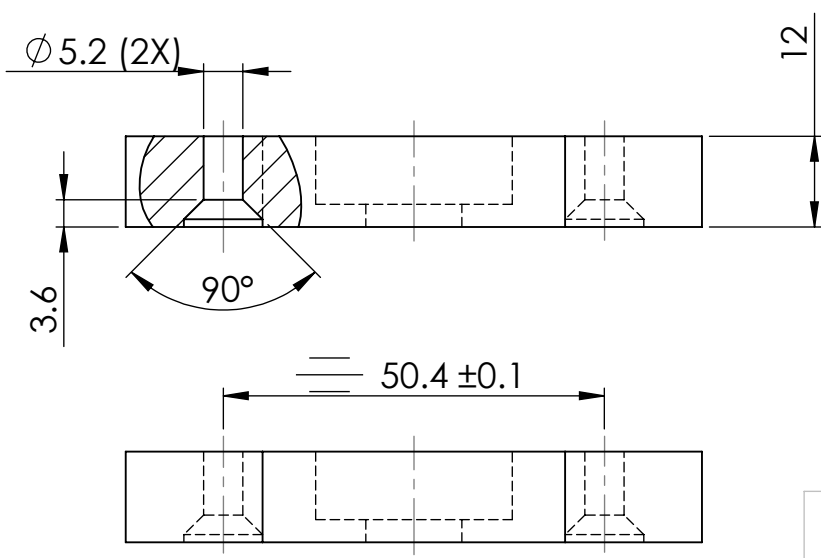
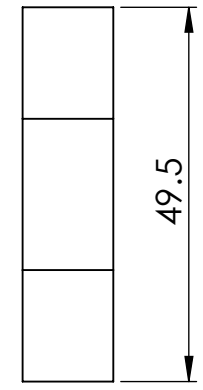
Plano: 110 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 110 Poste eslabón 1.		Número de piezas. 2	Material. Nylon.	Acabado.
Observaciones:	Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio. Jasso Lua Juan Francisco.	Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.	Fecha. Trim. 14-I	
	Cotas. mm.	Escala. 2:1	Hoja: 1 de: 1	



CORTE G-G



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 120 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 111 Porta balero inf.

Número de piezas:
1

Material:
6061

Acabado:

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

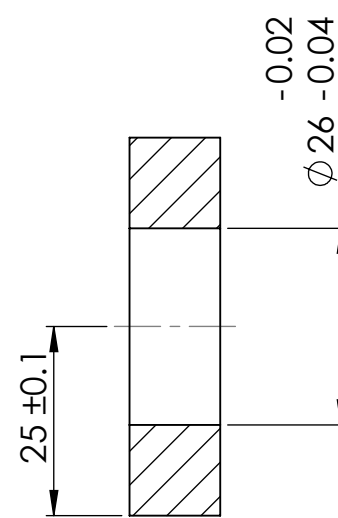
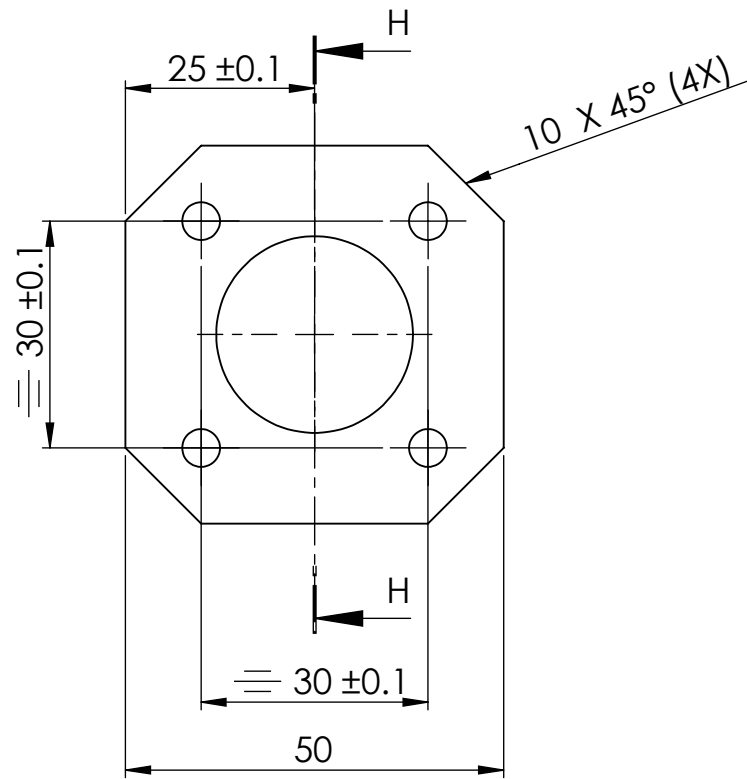
Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

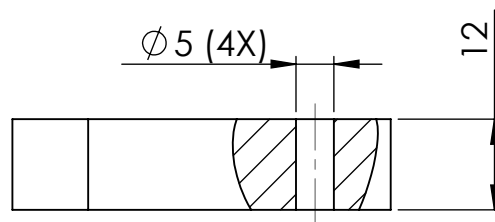
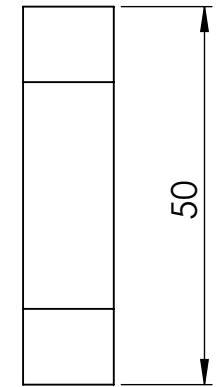
Escala.
1:1

Hoja: 1
de: 1

SC - 012 - A4



CORTE H-H



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 130 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 112 Porta balero sup.

Número de piezas.
1

Material.
6061

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

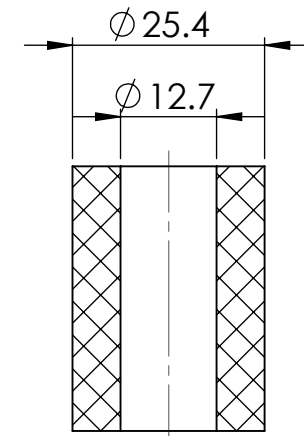
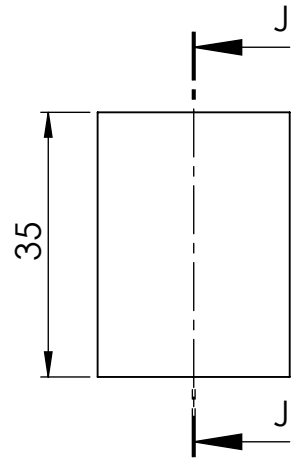
Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
1:1

Hoja: 1
de: 1

SC - 013 - A4



CORTE J-J



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 113 Camisa.

Número de piezas.
1

Material.
Nylon.

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

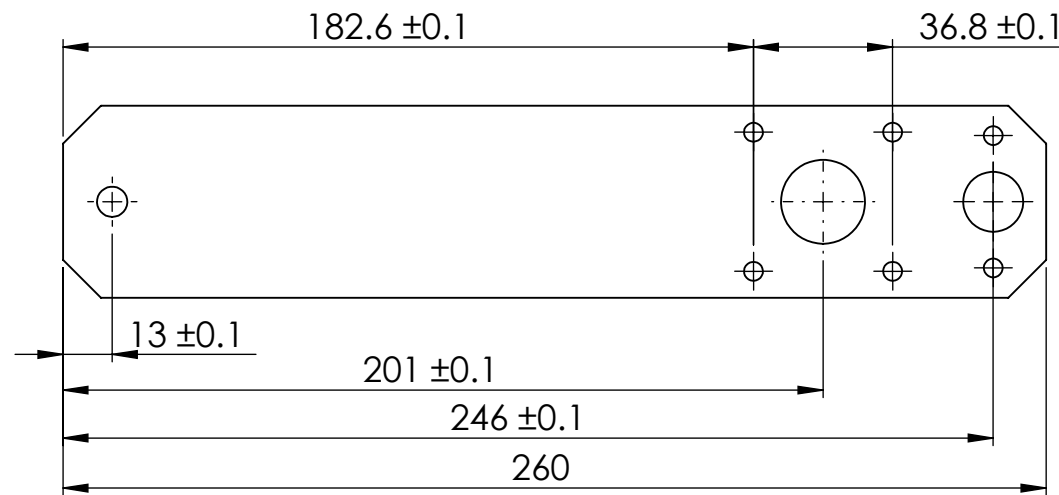
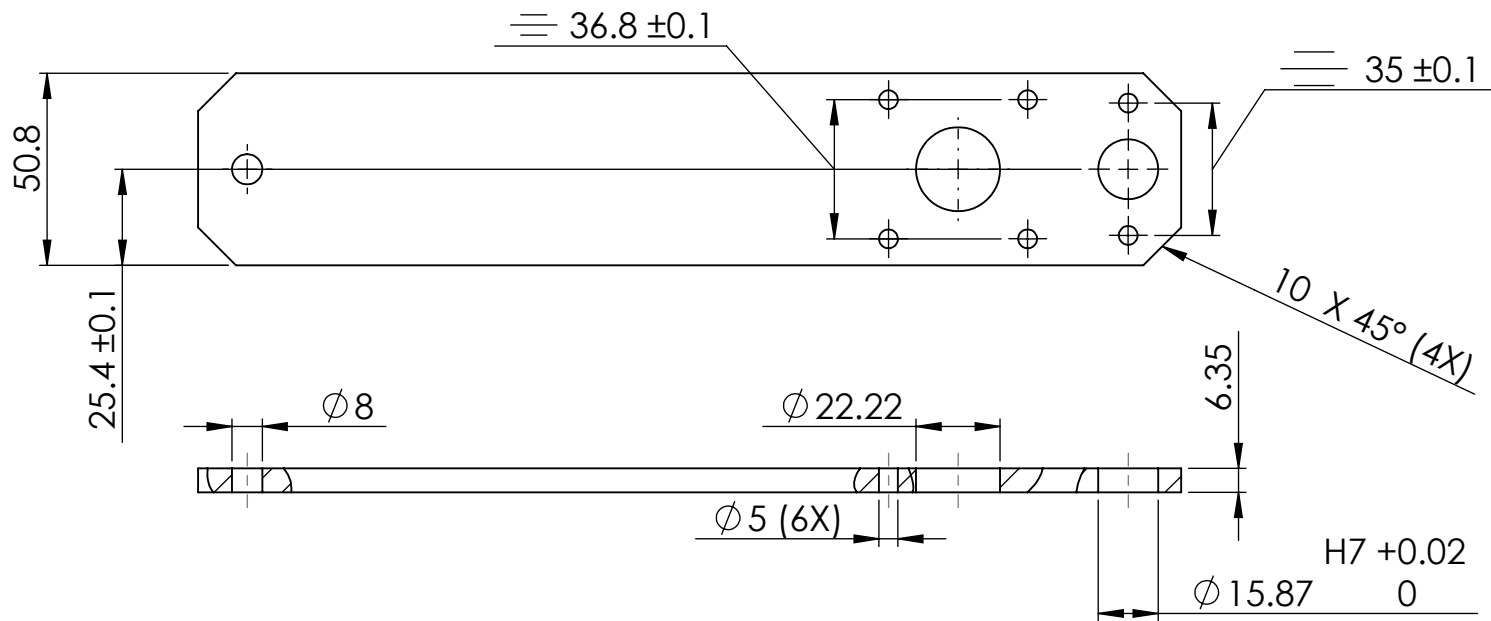
Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
1:1

Hoja: 1
de: 1

SC - 014 - A4



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 150 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 201 Eslabón 2 inf.

Número de piezas.
1

Material.
6061

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

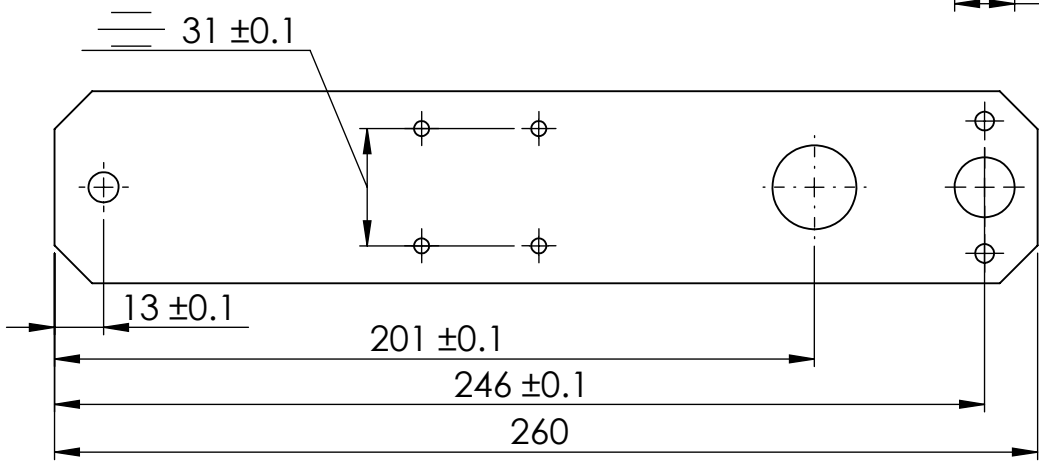
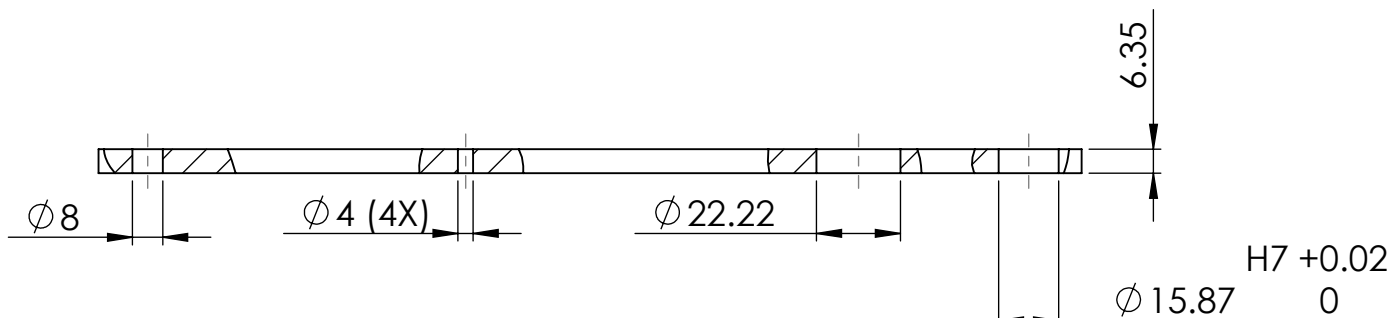
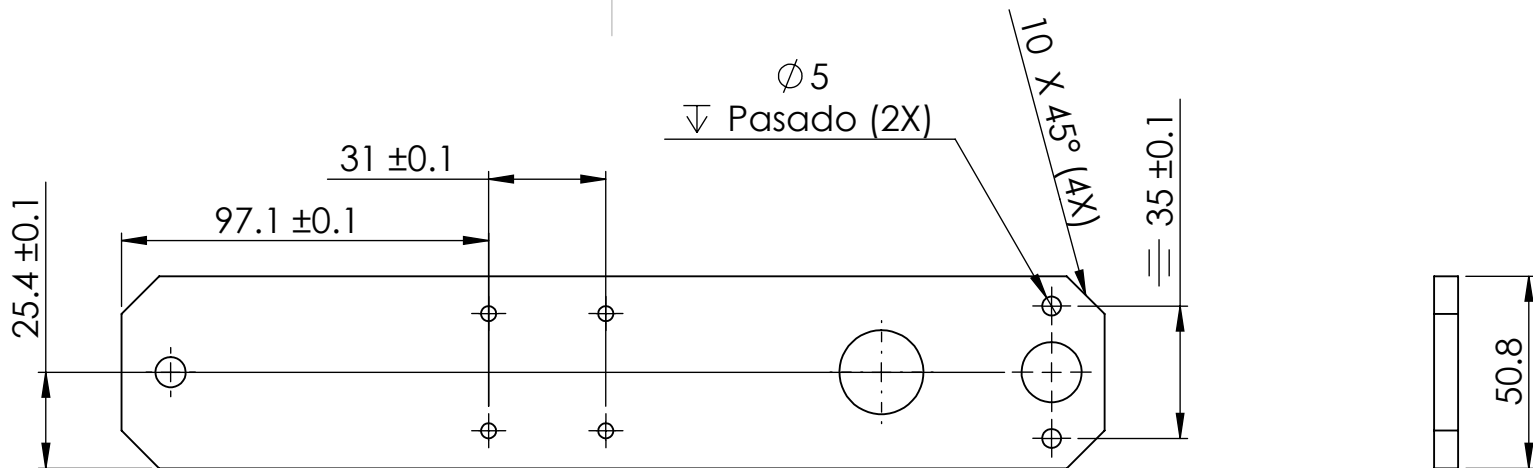
Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
1:2

Hoja: 1
de: 1

SC - 015 - A4



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 160 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 202 Eslabón 2 sup.

Número de piezas.
1

Material.
6061

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

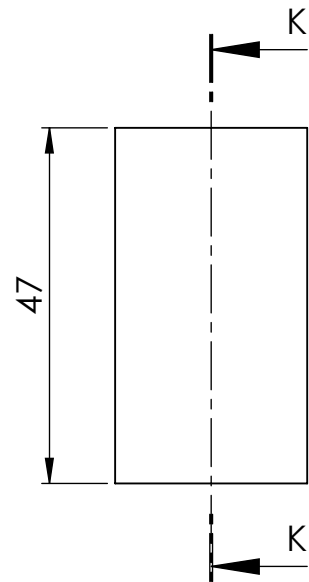
Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

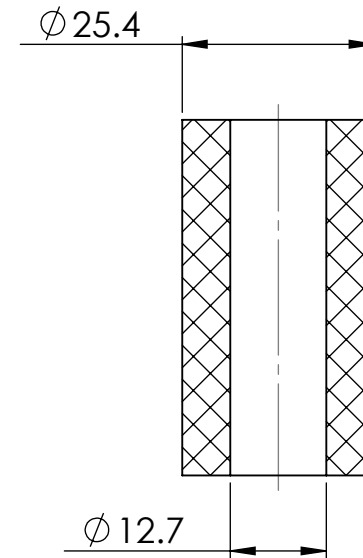
Escala.
1:2

Hoja: 1
de: 1

SC - 016 - A4



CORTE K-K



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 170 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 203 Camisa.

Número de piezas.
1

Material.
Nylon

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

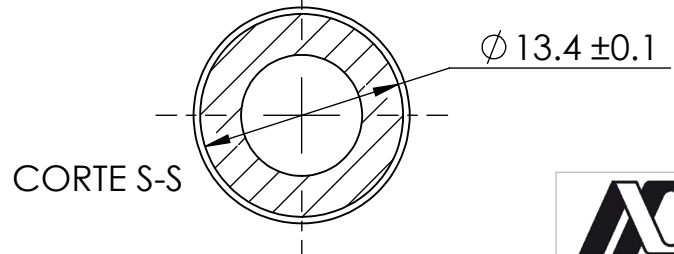
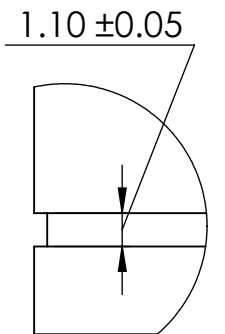
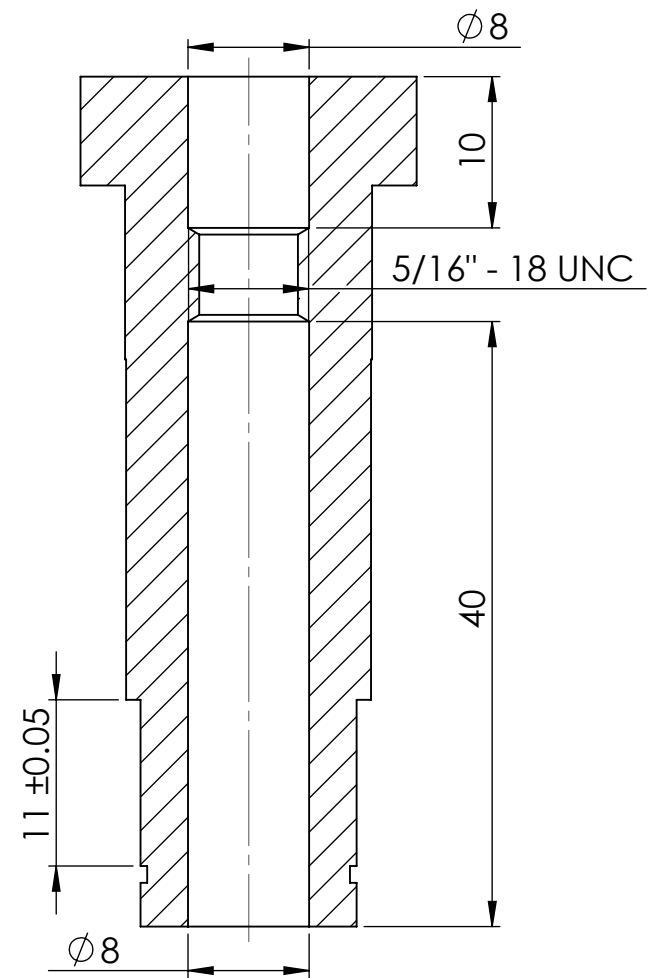
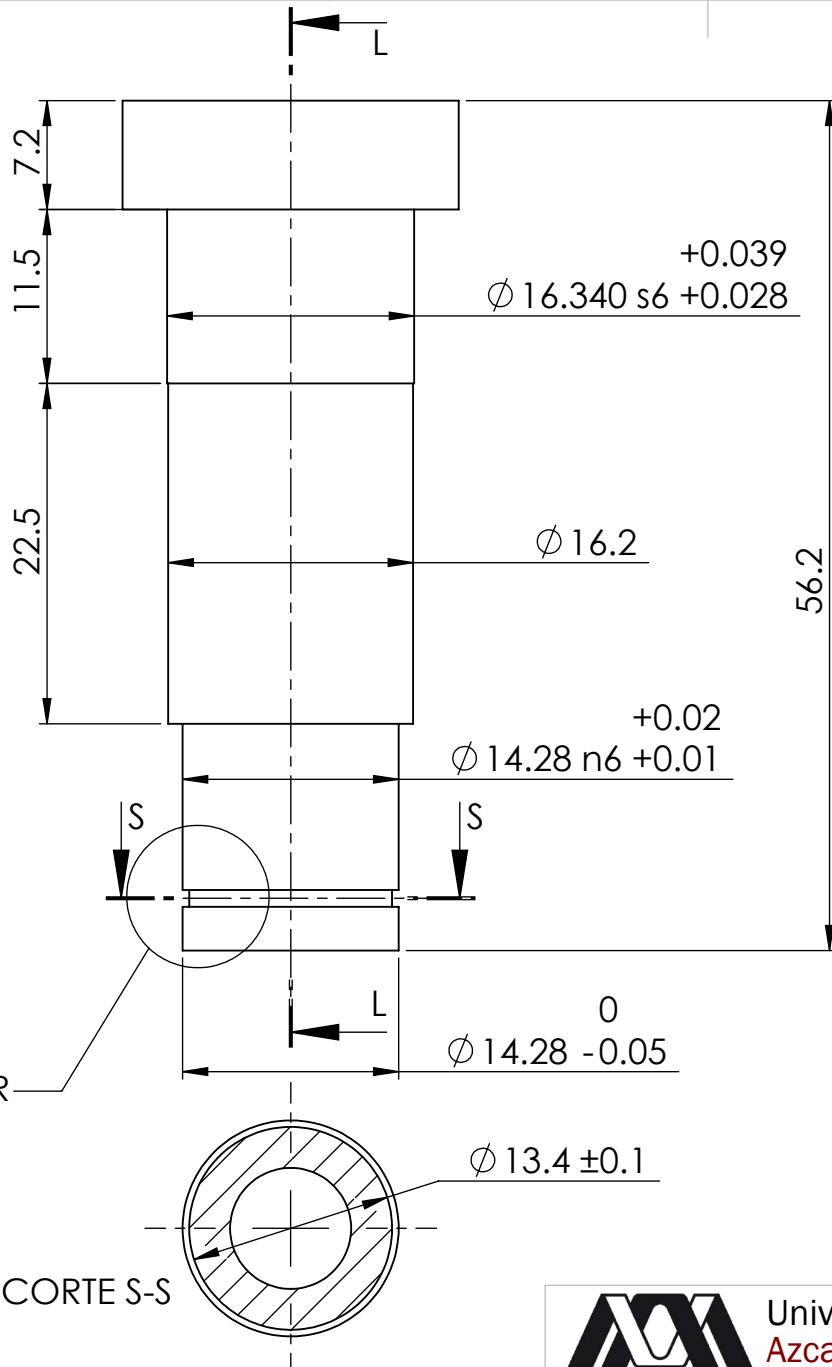
Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
1:1

Hoja: 1
de: 1

SC - 017 - A4



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano 180 / 350

Nombre de la pieza: SC 204 Flecha polea.

Número de piezas.
1

Material.
Bronce.

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Luc Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

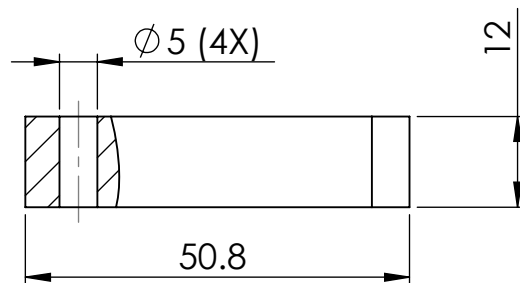
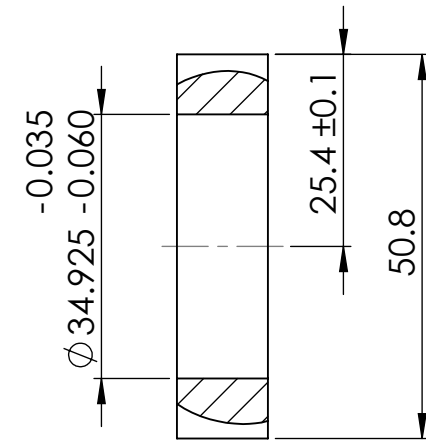
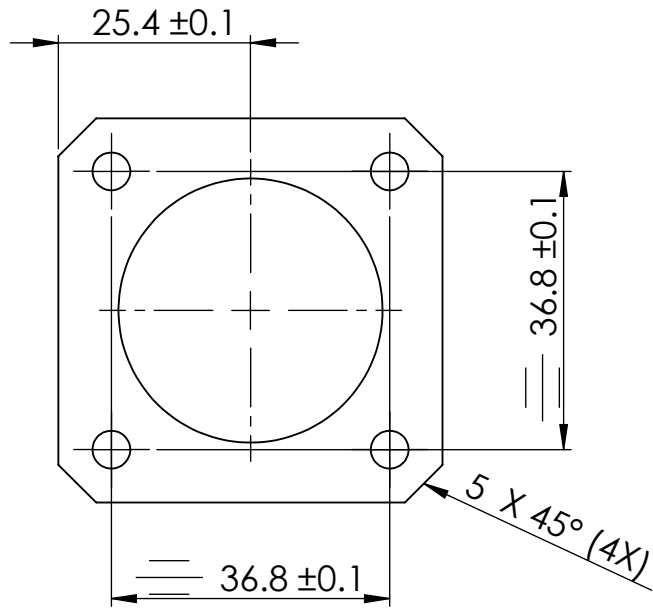
Escala.
2:1

Hoja: 1
de: 1

SC - 018 - A4

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

DETALLE R
ESCALA 4 : 1



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 190 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 205 Base balero.

Número de piezas.
1

Material.
6061

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

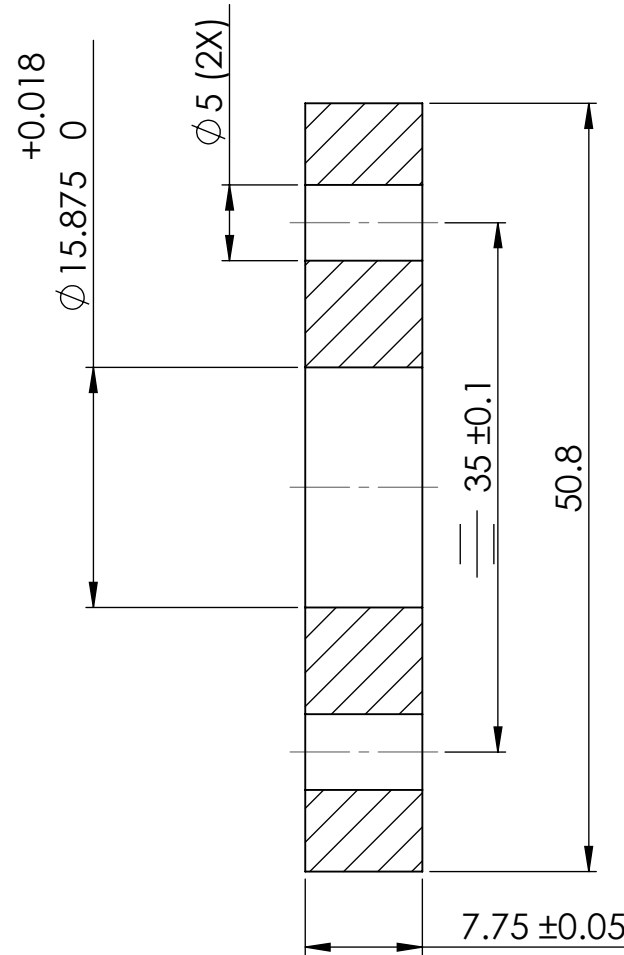
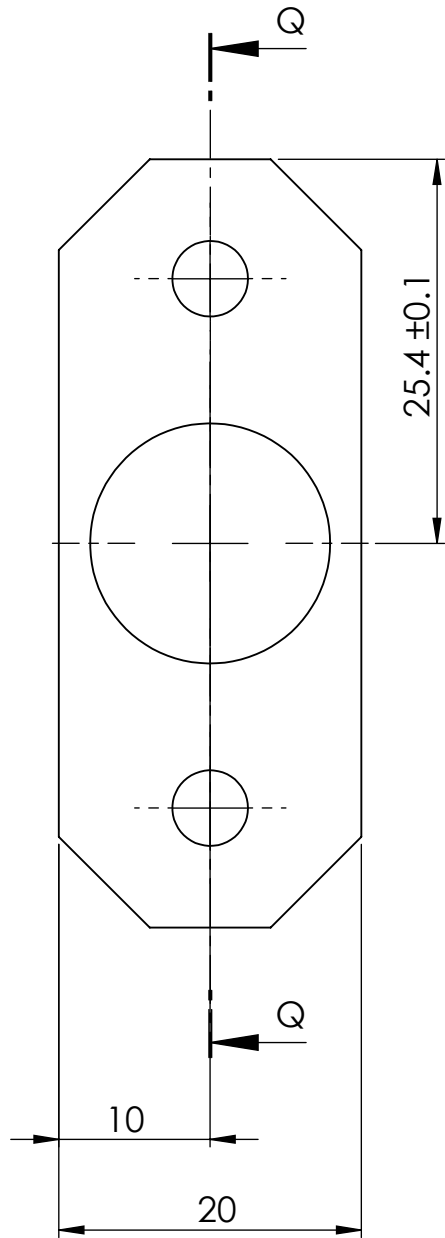
Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
1:1

Hoja: 1
de: 1

SC - 019 - A4



CORTE Q-Q



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 200 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 206 Porta balero.

Número de piezas.
2

Material.
6061

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lud Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
2:1

Hoja: 1
de: 1

SC - 020 - A4

5/16" - 18 UNC

500



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 210 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 207 Esparrago.

Número de piezas.
1

Material.
Galvanizado

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
1:2

Hoja: 1
de: 1

SC - 021 - A4



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 220 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 208 Flecha guía.

Número de piezas.
1

Material.
1018

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

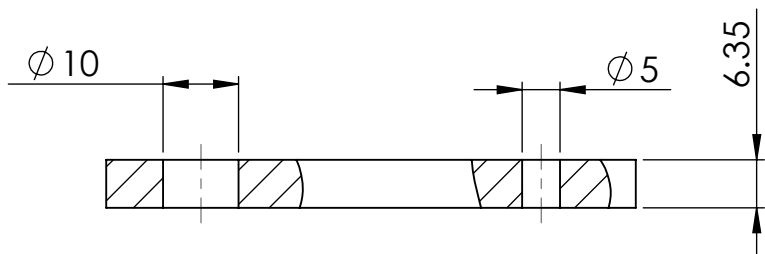
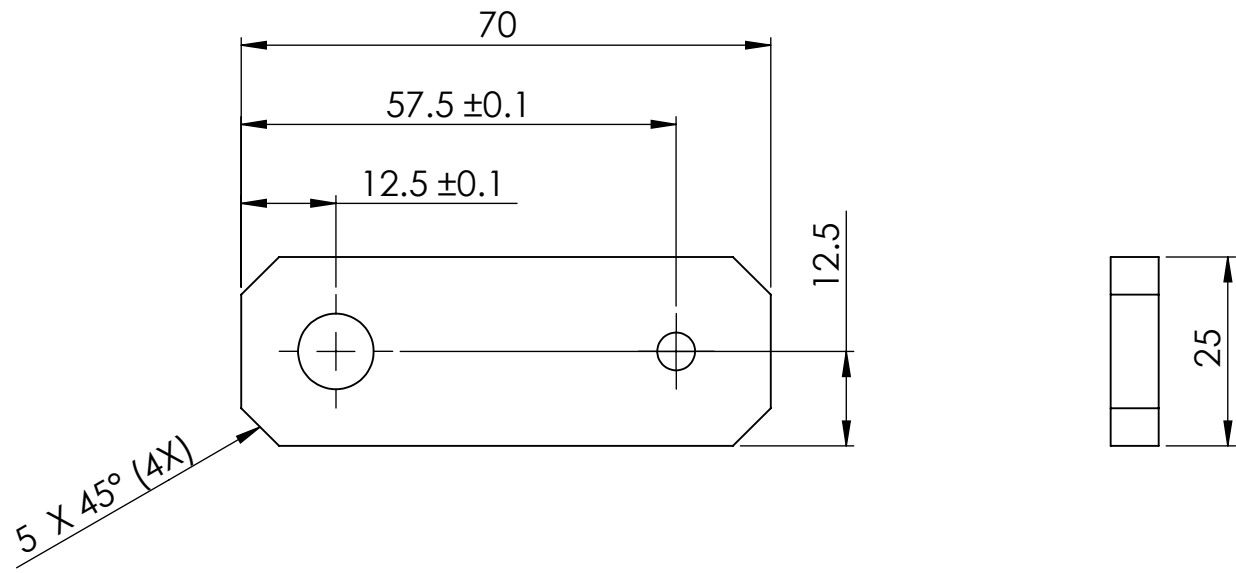
Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
1:2

Hoja: 1
de: 1

SC - 022 - A4



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

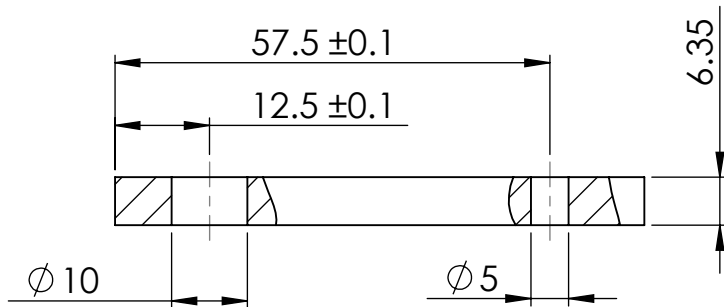
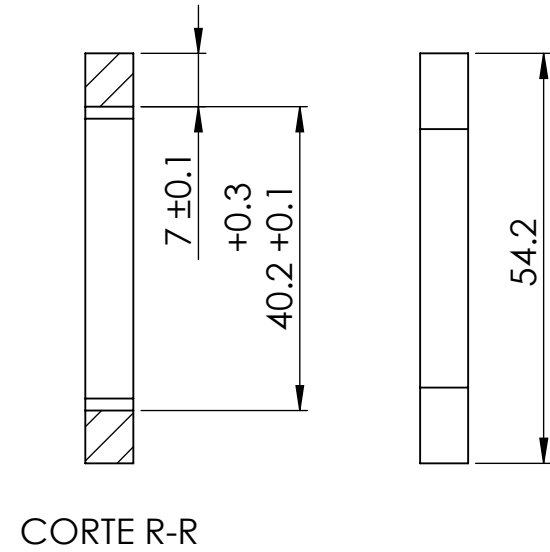
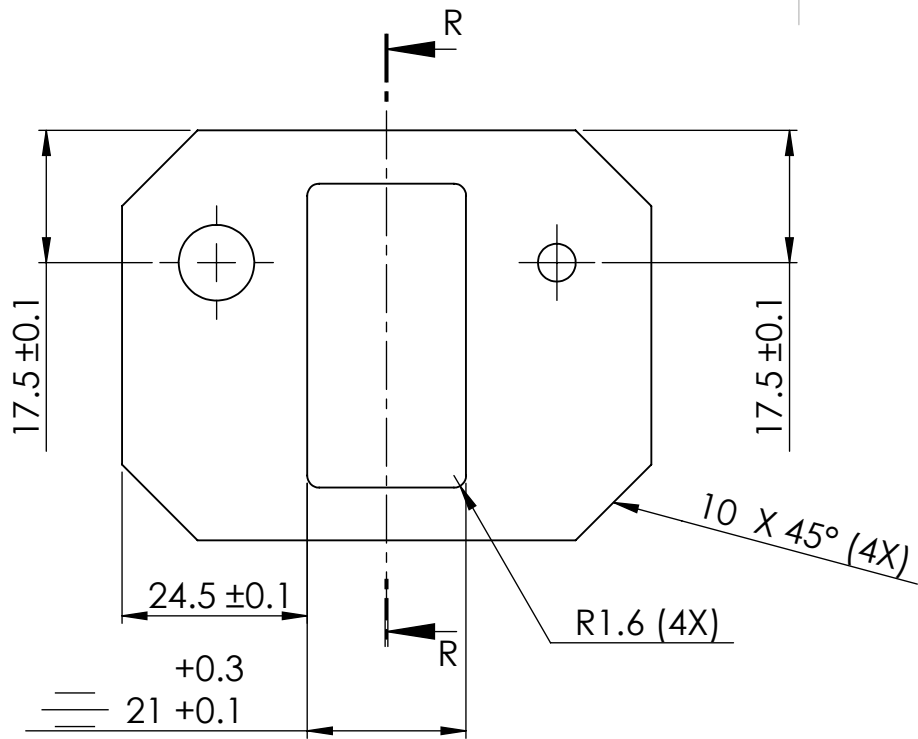
Plano: 230 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 209 Soporte guía sup.

Observaciones:

Número de piezas. 1	Material. 6061	Acabado.	
Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio. Jasso Lua Juan Francisco.	Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.	Fecha. Trim. 14-I	
Cotas. mm.	Escala. 1:1	Hoja: 1 de: 1	SC - 023 - A4



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 240 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 210 Soporte guía inf.

Número de piezas.
1

Material.
6061

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
1:1

Hoja: 1
de: 1

SC - 024 - A4

1 2 3 4 5 6

A

A

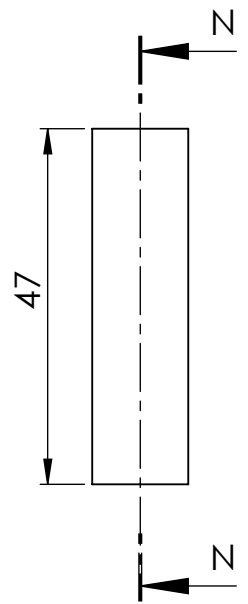
B

B

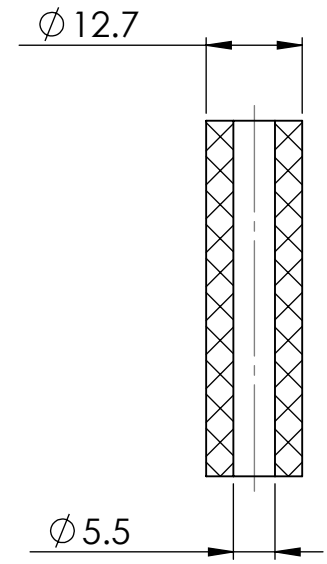
C

C

D



CORTE N-N



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 250 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 211 Poste.

Número de piezas.
2

Material.
Nylon.

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lud Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

Fecha.
Trim. 14-I

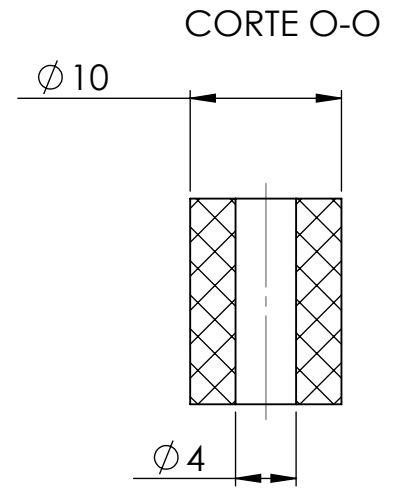
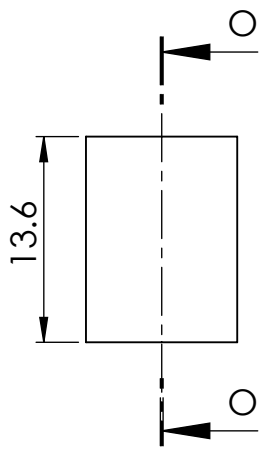
Escala.
1:1

Hoja: 1
de: 1

SC - 025 - A4

1

2



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 260 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 212 Poste motor.

Número de piezas.
4

Material.
Nylon.

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

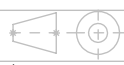
Fecha.
Trim. 14-I

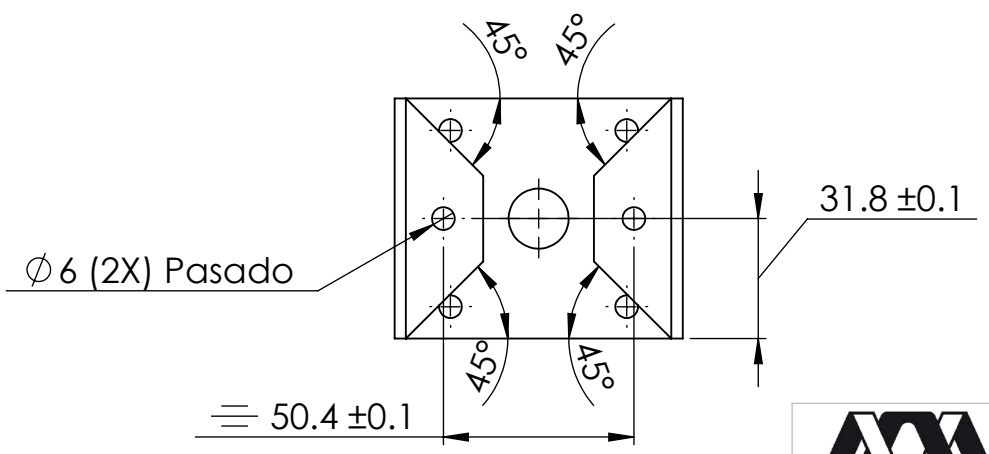
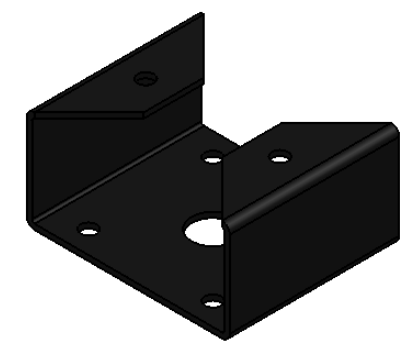
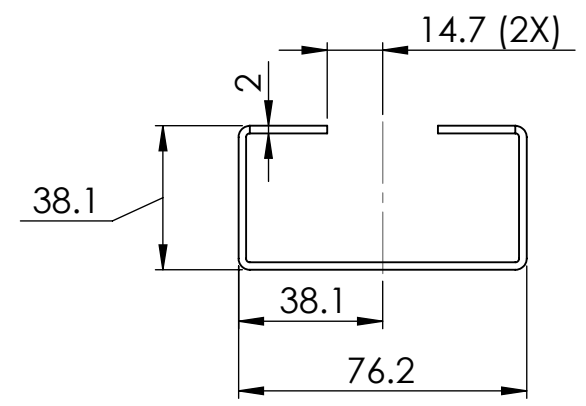
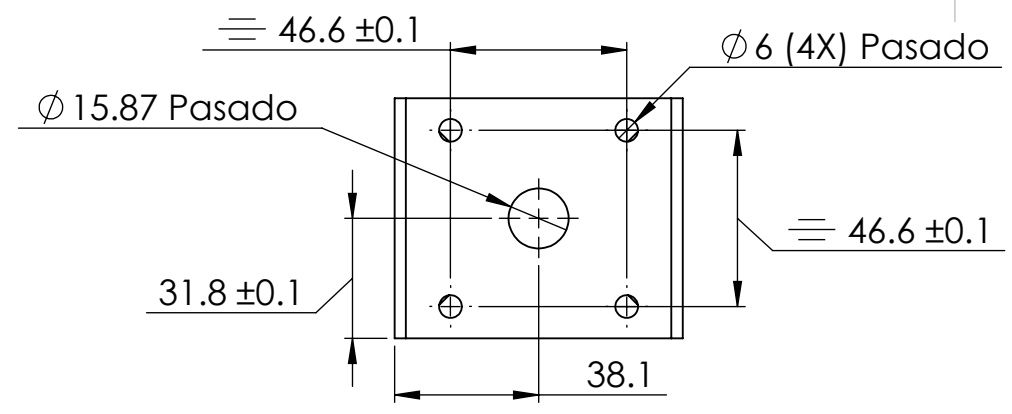
Cotas.
mm.

Escala.
1:1

Hoja: 1
de: 1

SC - 026 - A4





Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 270 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 213 Soporte motor.

Número de piezas.
1

Material.
A36

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

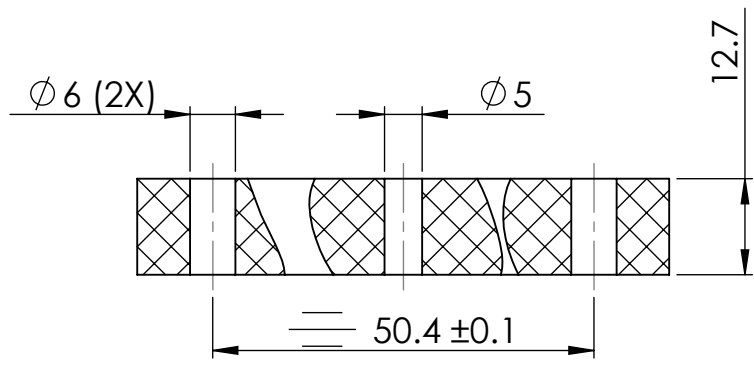
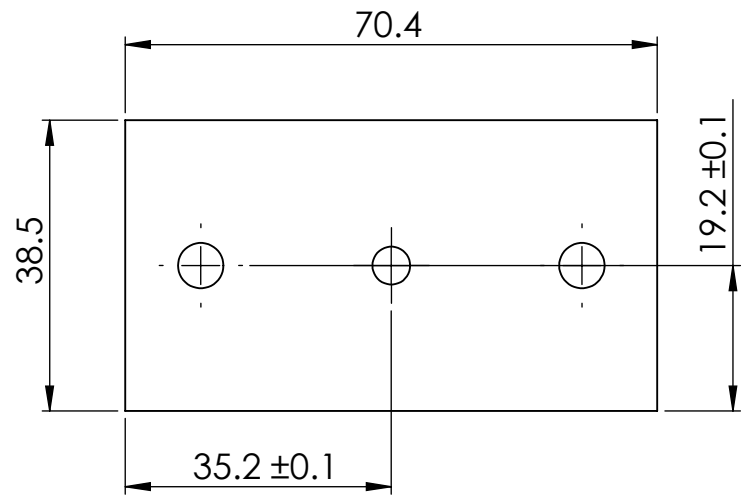
Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
1:2

Hoja: 1
de: 1

SC - 027 - A4



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 280 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 214 Guía de flecha.

Número de piezas.
1

Material.
Acrílico.

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

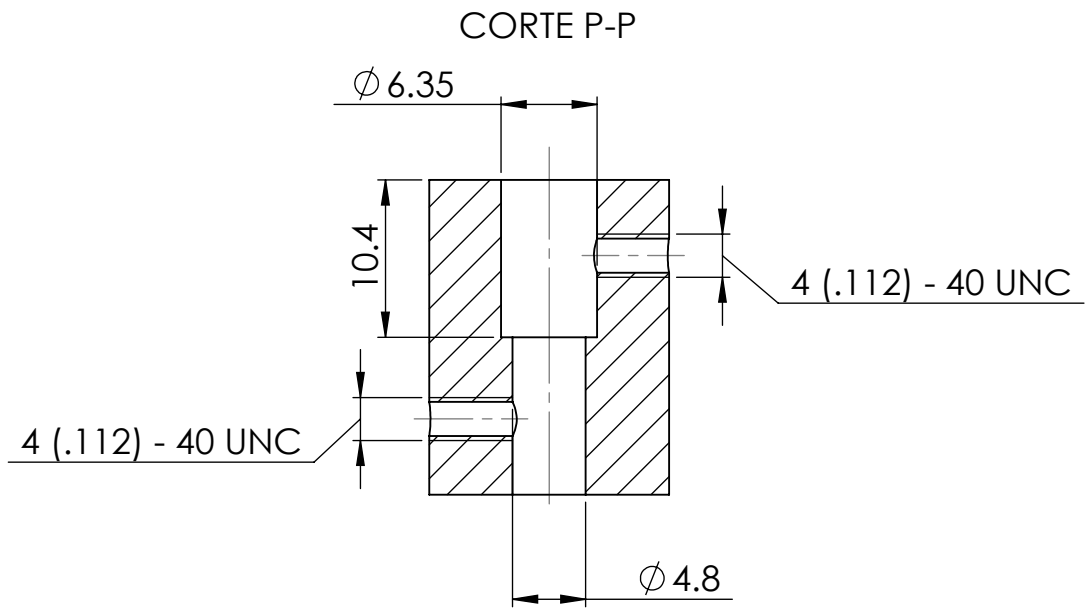
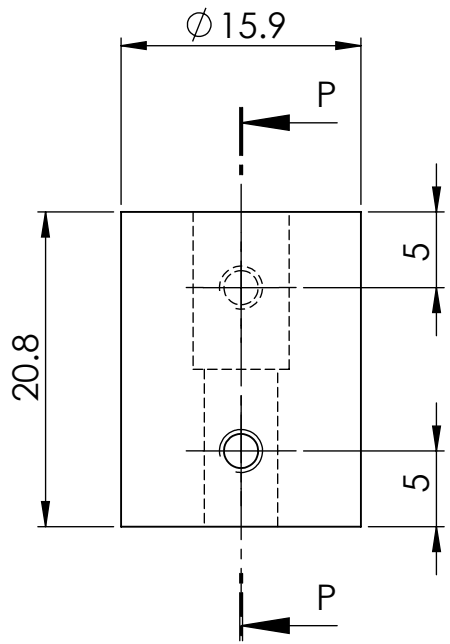
Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
1:1

Hoja: 1
de: 1

SC - 028 - A4



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 290 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 215 Cople.

Número de piezas.
1

Material.
6061

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

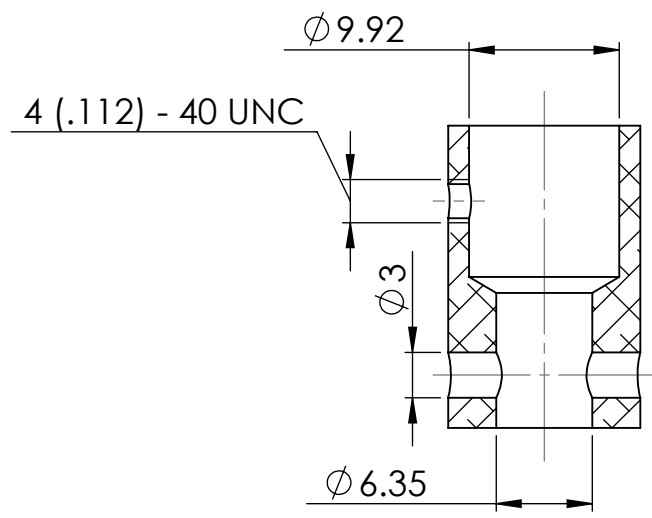
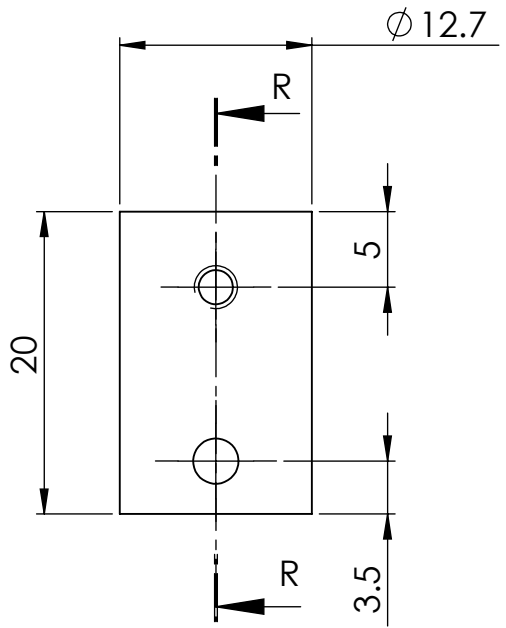
Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
2:1

Hoja: 1
de: 1

SC - 029 - A4



CORTE R-R



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 300 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 216 Cople motorreductor 2.

Número de piezas.
1

Material.
6061

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

Fecha.
Trim. 14-I

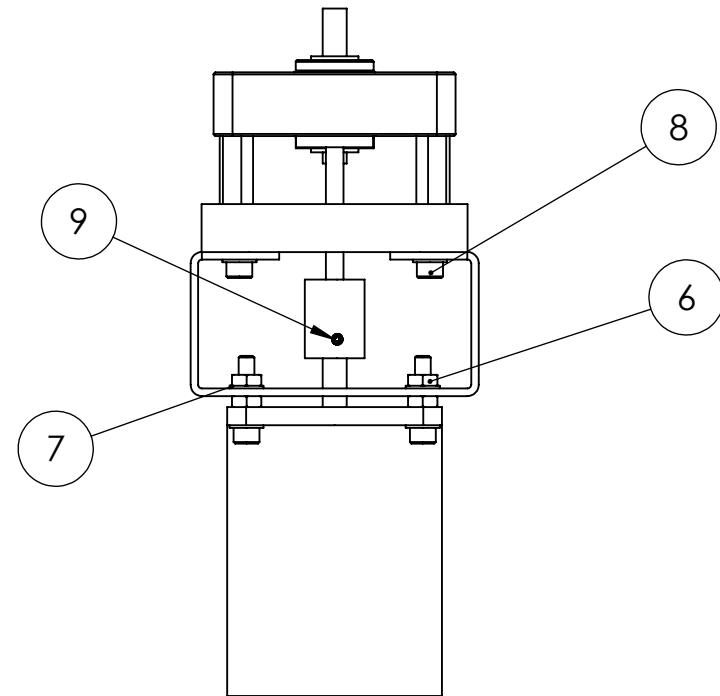
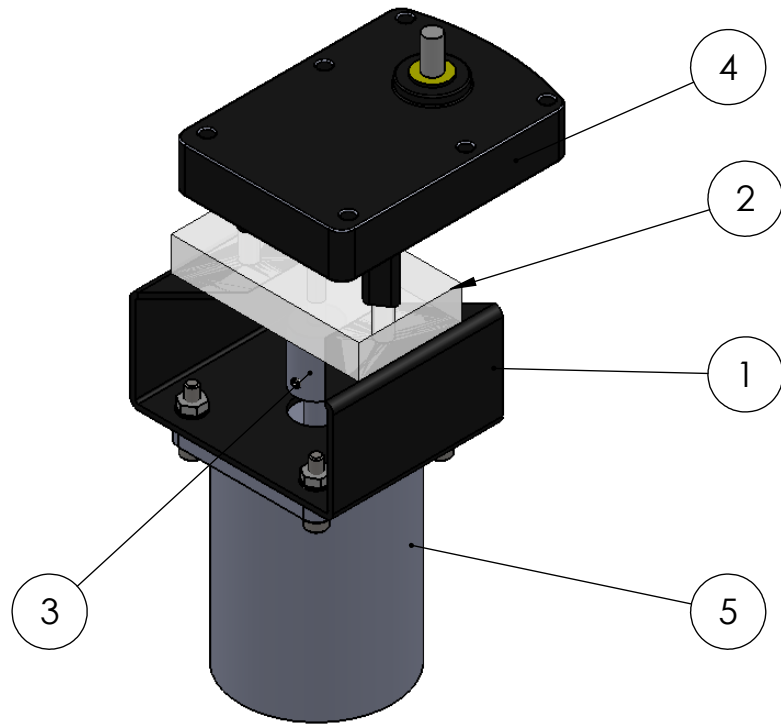
Cotas.
mm.

Escala.
2:1


Hoja: 1
de: 1

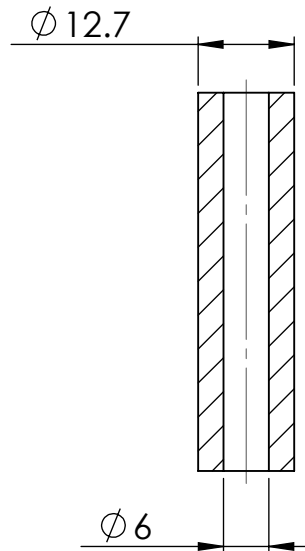
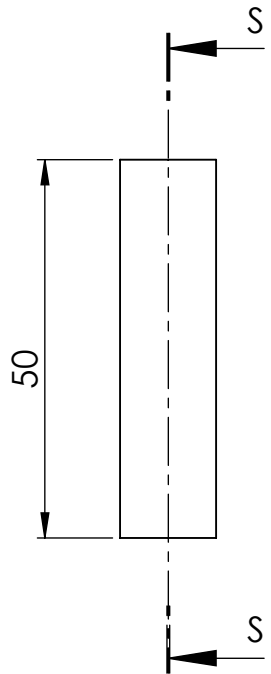
SC - 030 - A4

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LOCALIZACIÓN.	CANTIDAD
1	SC 213 Soporte motor	SC - 027 - A4	1
2	SC 214 Guía de flecha	SC - 028 - A4	1
3	SC 215 Cople	SC - 029 - A4	1
4	Caja engranes MK RF	MK RF	1
5	Stepping motor 2	LA 23BCK-11G2	1
6	Tuerca 0.164in - 32 UNC		8
7	Arandela 0.16in		10
8	Allen cilindro 0.164in - 32 UNC * 0.75in		6
9	Prisionero 0.112in - 40 UNC * 0.25in		4



Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

 Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco		Proyecto. Manipulador SCARA.		Plano: 310 / 350
Nombre de la pieza: MOTORREDUCTOR 2.		Número de piezas. 1	Material.	Acabado.
Observaciones:		Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio. Jasso Lua Juan Francisco.	Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.	Fecha. Trim. 14-I
		Cotas. mm.	Escala. 1:2	Hoja: 1 de: 1
				SC - 031 - A4



CORTE S-S



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 320 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 301 Poste motor 1.

Número de piezas.
1

Material.
6061

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

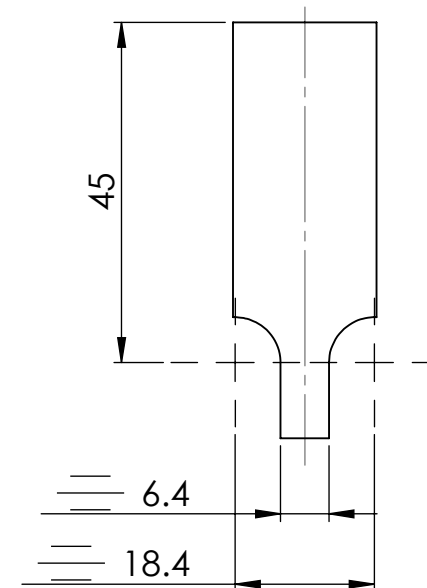
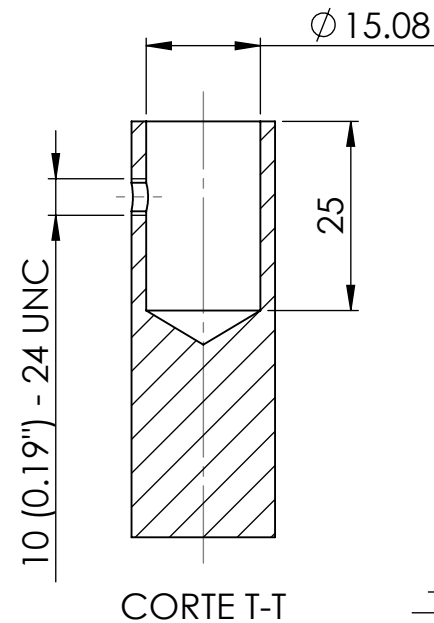
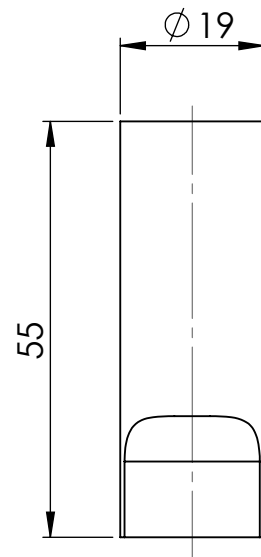
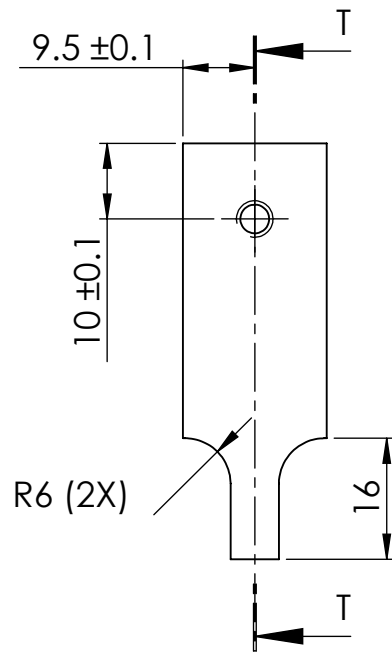
Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
1:1

Hoja: 1
de: 1

SC - 032 - A4



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 330 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: SC 302 Cople Inferior motor 1

Número de piezas.
1

Material.
1018

Acabado.

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

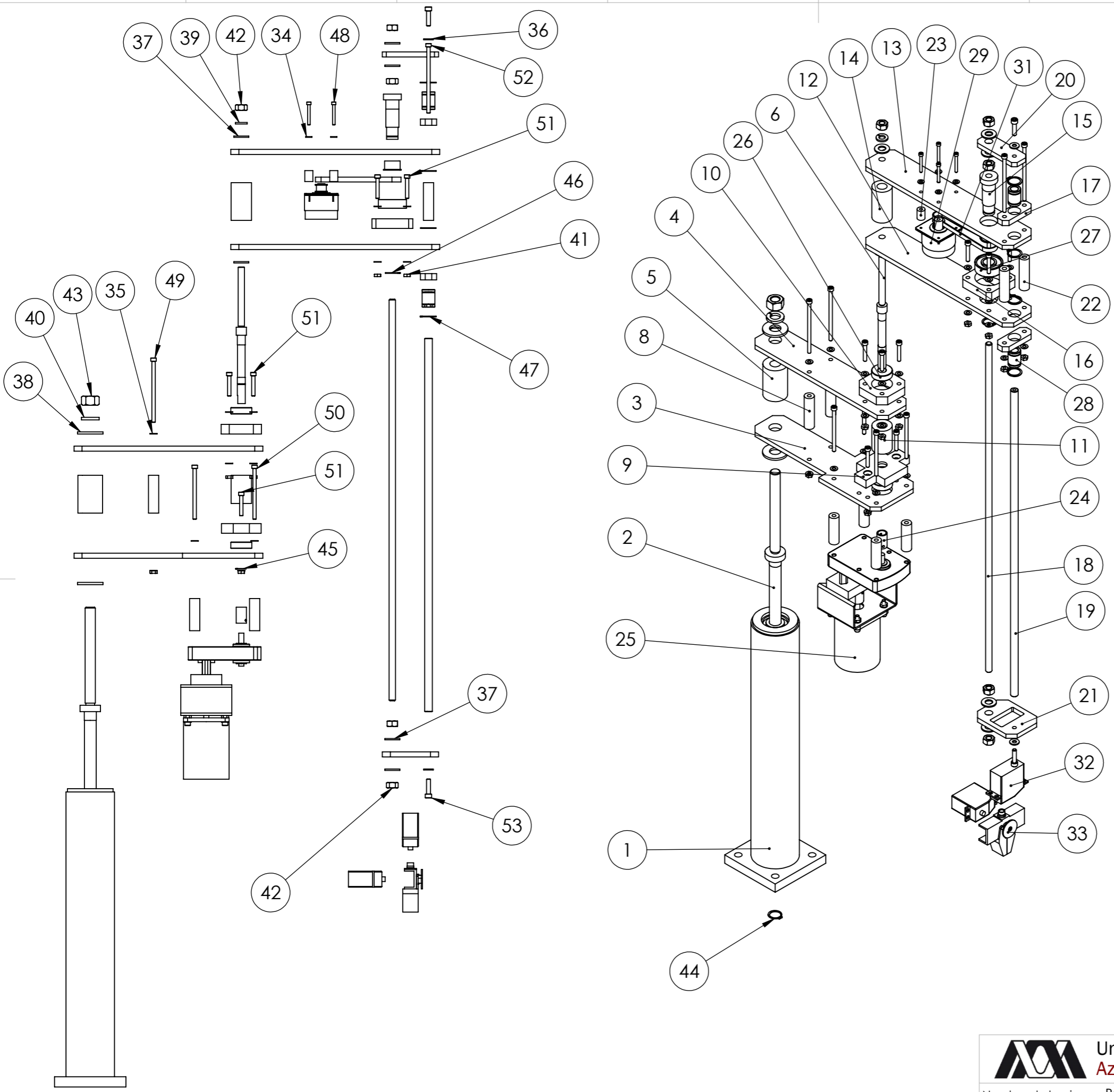
Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.


Escala.
1:1

Hoja: 1
de: 1

SC - 033 - A4



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LOCALIZACIÓN	CANTIDAD
1	SC A01 Conjunto base	SC - 004 - A4	1
2	SC 104 Flecha transmisión 1	SC - 005 - A4	1
3	SC 105 eslabon 1 inf	SC - 006 - A4	1
4	SC 106 eslabon 1 sup	SC - 007 - A4	1
5	SC 107 camisa	SC - 008 - A4	1
6	SC 108 flecha transmisión 2	SC - 009 - A4	1
7	SC 109 poste motor 2	SC - 010 - A4	4
8	SC 110 poste eslabón 1	SC - 011 - A4	2
9	SC 111 Porta balero inf.	SC - 012 - A4	1
10	SC 112 Porta balero sup.	SC - 013 - A4	1
11	SC 113 camisa	SC - 014 - A4	1
12	SC 201 Eslabón 2 inf	SC - 015 - A4	1
13	SC 202 Eslabón 2 sup	SC - 016 - A4	1
14	SC 203 Camisa	SC - 017 - A4	1
15	SC 204 Flecha Polea	SC - 018 - A4	1
16	SC 205 Base balero	SC - 019 - A4	1
17	SC 206 Porta balero	SC - 020 - A4	2
18	SC 207 Esparrago	SC - 021 - A4	1
19	SC 208 Flecha guia	SC - 022 - A4	1
20	SC 209 Soporte guia	SC - 023 - A4	1
21	SC 210 Soporte guia inf	SC - 024 - A4	1
22	SC 211 Poste	SC - 025 - A4	2
23	SC 212 poste motor	SC - 026 - A4	4
24	SC 216 Cople motorreductor 2	SC - 030 - A4	1
25	MOTOREDUCTOR 2	SC - 031 - A4	1
26	Rodamiento 10mm	7202B	2
27	Rodamiento 0.563 in	xxxxx	1
28	Balero lineal 0.375 in	LBB-0.375	2
29	Stepping motor 3		1
30	Polea dentada		1
31	Banda dentada		1
32	servo	HS-422	2
33	Gripper		1
34	Arandela 0.125in		4
35	Arandela 0.16in		28
36	Arandela 0.19in		2
37	Arandela 0.313in		6
38	Arandela 0.5in		2
39	Arandela se seguridad 0.313in		1
40	Arandela de seguridad 0.5in		1
41	Tuerca 0.164in - 32 UNC		14
42	Tuerca 0.313in - 18 UNC		5
43	Tuerca 0.5in - 13 UNC		1
44	Anillo de retención externo 15mm		1
45	Anillo de retención externo 10mm		1
46	Anillo de retención externo 0.563in		1
47	Anillo de retención externo 0.625in		4
48	Allen cilindro 0.125in - 40 UNC * 1in		4
49	Allen cilindro 0.164in - 32 UNC * 3in		2
50	Allen cilindro 0.164in - 32 UNC * 2.5in		4
51	Allen cilindro 0.164in - 32 UNC * 1in		10
52	Allen Cilindro 0.164in -32 UNC * 3.25in		2
53	Allen cilindro 0.19in -24 UNC * 0.75in		2



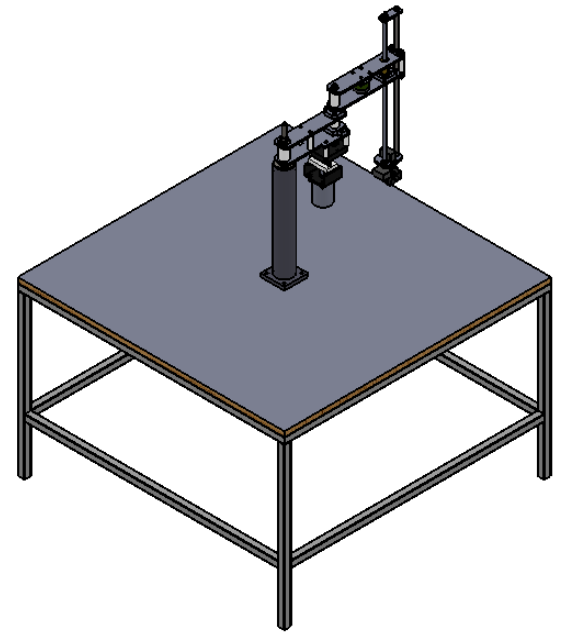
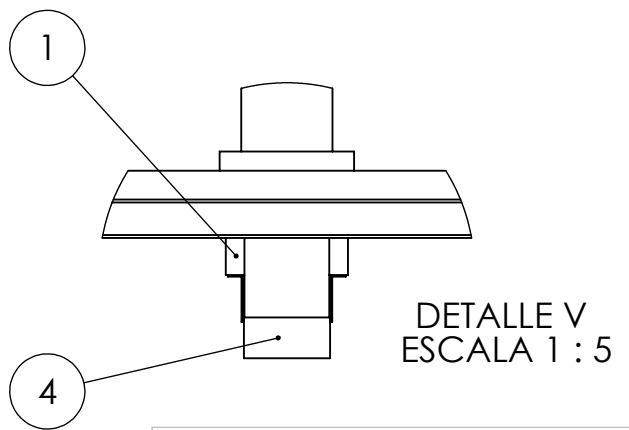
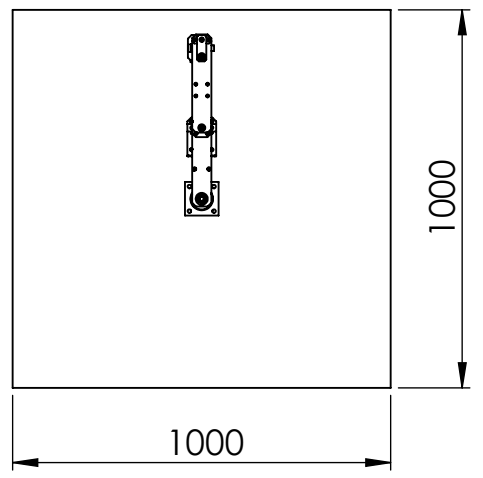
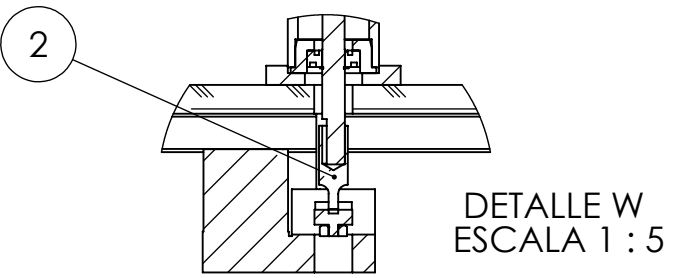
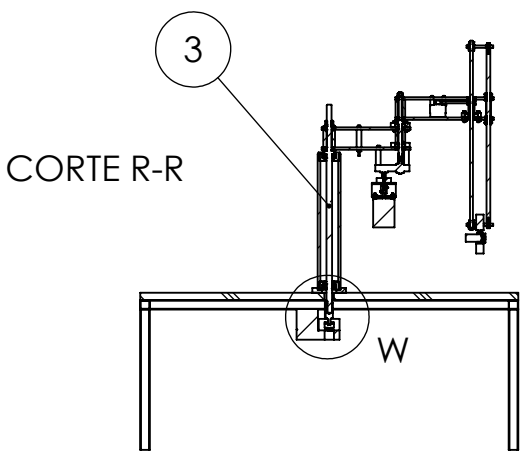
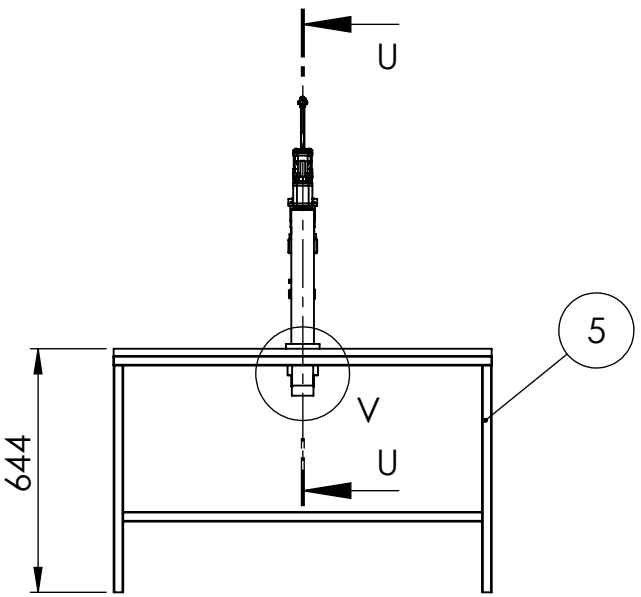
Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 340 / 350

Nombre de la pieza: Brazo - SCARA		Número de piezas: 1	Material:	Acabado:
Observaciones:		Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio. Jasso Lua Juan Francisco.	Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.	Fecha. Trím. 14-I
		Cotas. mm.	Escala. 1:3	Hoja: 1 de: 1
		SC - 034 - A3		

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	LOCALIZACIÓN	CANTIDAD
1	SC 301 Poste motor 1	SC - 032 - A4	2
2	SC 302 Cople motor 1	SC - 033 - A4	1
3	Brazo - SCARA	SC - 034 - A3	1
4	Stepping motor 1		1
5	Mesa estructura		1



Universidad Autónoma Metropolitana
Azcapotzalco

Proyecto.
Manipulador SCARA.

Plano: 350 / 350

Tolerancias generales de dimensión (mm)					
0.5 ... 3	> 3 ... 6	> 6 ... 30	> 30 ... 120	> 120 ... 400	> 400 ... 1000
± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8

Nombre de la pieza: Mesa - SCARA

Número de piezas: 1
Material:
Acabado:

Observaciones:

Dibujó. Fernández Ramírez Adrián Octavio.
Jasso Lua Juan Francisco.

Revisó. Ing. Pérez Moreno Romy.

Fecha.
Trim. 14-I

Cotas.
mm.

Escala.
1:20

Hoja: 1
de: 1

SC - 035 - A4

5.3 Operaciones

Aquí presentamos las operaciones que utilizamos dentro del maquinado de la estructura del manipulador. Las tablas indican el nombre y número de la pieza, el montaje al que se les relaciona, especificaciones del material y la secuencia de maquinado para su elaboración.

5.3.1 Base del manipulador

Número: SC-101		Montaje: SC A01 Conjunto Base	Nombre: tubo base	Material: Acero Tubular cedula 40
Fecha: Nov 2013		Secuencia		No. Piezas: 1
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Refrentado	Refrentado dos caras paradas longitud de 355.7 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	Apoyo de lunetas para sujeción
20	Mandrinado	Ø=50.7mm con profundidad de 18.5 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	Apoyo de lunetas para sujeción Cavidad para SC-102

Número: SC-102		Montaje: SC A01 Conjunto Base	Nombre: buje articulación 1	Material: acero cold roll 1018 Ø 2.5"
Fecha: Nov 2013		Secuencia		No. Piezas: 2
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Refrentado	Refrentado dos caras para dar longitud de 22 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
20	Cilindrado	Cilindrar Ø=56.7 mm con una longitud de 22 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
30	Cilindrado	Cilindrar Ø=50.7 mm con una longitud de 18 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
40	Barrenado	Barreno pasado Ø=25.4 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
50	Mandrinado	Ø=35mm con profundidad de 15 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	Cavidad para rodamiento Øint=15mm, Øext=35mm ajuste con apriete
60	chaflaneado	Chaflan de 5 mm a 45°	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	

Número: SC-103		Montaje: SC A01 Conjunto Base	Nombre: solera base	Material: acero estructural solera, w=2", t= 1/2"
Fecha: Nov 2013		Secuencia		No. Piezas: 1
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Planeado	Planear caras hasta obtener un cuadrado de 88.9 x 88.9 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
20	Barrenado	Barreno pasado de 38mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	Sujeción con chuck de cuatro mordazas
30	Mandrinado	Cavidad de Ø= 60.3 mm longitud de 5mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	Sujeción con chuck de cuatro mordazas
40	Fresado de cavidades	Fresado de cuatro cavidades Ø=9.5 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	

5.3.2 Eslabón uno

Número:SC- 104		Montaje: BrazoSCARA	Nombre: Flecha de transmisión	Material: Acero 1018 Ø = 7/8"
Fecha: Dic 2013		Secuencia		No. Piezas: 1
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Refrentado	Refrentado en ambas caras para obtener una longitud de 550mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
20	Cilindrado	Cilindrar a Ø 15 mm una longitud de 420 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
30	Ranurado	Ranura con espesor de 1mm y profundidad de 0.7mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	para seguro externo de 9/16"
40	Cilindrado	Cilindrar a Ø12.6 mm una longitud de 122 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
50	Ranurado	Ranurar al final de la operación 40 para salida de rosca	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
60	Roscado	Roscado de cuerda ½" – 13 NC longitud de 122 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
70	Planeado	Planear longitud de 30mm con profundidad de 3 mm al principio de la operación 20	Cepillo, Taller mecánico UAM AZC	

Número:SC-105		Montaje: BrazoSCARA	Nombre: Eslabón 1 inf	Material: Solera de aluminio w=3" t=¼"
Fecha: Dic 2013		Secuencia		No. Piezas: 1
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Planeado	Planear una para obtener un rectángulo de 235mm x 76.2 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
20	Fresado en escuadra	Escalonar un rectángulo de 135mm x 50.8 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
30	Fresado de cavidades	Fresar cavidad de 15.2 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
40	Fresado de cavidades	Fresar cavidad de 25.4 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
50	Fresado de cavidades	Fresar cavidades de 5 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
60	Planeado	Chaflan a 45°	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC-105		Montaje: BrazoSCARA	Nombre: Eslabón 1 sup	Material: Solera de aluminio w=2" t=¼"
Fecha: Dic 2013		Secuencia		No. Piezas:
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Planeado	Planear una para obtener un rectángulo de 235mm x 50.8 mm	Fresadora vertical F01, taller mecánico UAM AZC	
20	Fresado de cavidades	Fresar cavidad de 15.2 mm	Fresadora vertical F01, taller mecánico UAM AZC	
30	Fresado de cavidades	Fresar cavidad de 25.4 mm	Fresadora vertical F01, taller mecánico UAM AZC	
40	Fresado de cavidades	Fresar cavidades de 5 mm	Fresadora vertical F01, taller mecánico UAM AZC	
50	Planeado	Chaflan a 45°	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC- 107		Montaje: BrazoSCARA	Nombre: Camisa	Material: Nylamid Ø=1 ½ "
Fecha: Ene 2014		Secuencia		No. Piezas: 1
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Refrentado	Refrentar Nylamid dos caras con una longitud de 47mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
20	Cilindrado	Cilindrado a Ø30.8 mm longitud de 47 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
30	Barrenado	Barreno pasado de Ø13.5mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC-108		Montaje: BrazoSCARA	Nombre: Flecha transmisión 2	Material: Acero cold roll 1018 Ø= ½ "
Fecha: Ene 2014		Secuencia		No. Piezas: 1
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Refrentado	Refrentar Ø ½ " dos caras para longitud de 170 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
20	Cilindrado	Cilindrar Ø=10 mm una longitud de 85mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
30	Ranurado	Ranura a espesor de 1mm y profundidad de 0.3mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	para seguro externo de 10mm
40	cilindrado	Cilindrar a Ø=7.9 mm una longitud de 75 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
50	Ranurado	Ranurar al final de la operación 40 para salida de rosca	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
60	Roscado	Roscado de cuerda 5/16" – 18 UNC longitud de 75 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC- 109		Montaje: BrazoSCARA	Nombre: Poste motor 2	Material: Nylamid Ø ½ "
Fecha: Ene 2014		Secuencia		No. Piezas: 4
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Refrentado	Refrentar Ø12.7 mm una longitud de 40 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
20	Barrenado	Barreno pasado Ø5 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
30	Refrentado	Refrentar cara opuesta a operación 10	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC-110		Montaje: BrazoSCARA	Nombre: poste eslabón 1	Material: Nylamid Ø ½ "
Fecha: Ene 2014		Secuencia		No. Piezas: 2
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Refrentado	Refrentar Ø12.7 mm una longitud de 47 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
20	Barrenado	Barreno pasado Ø5 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
30	Refrentado	Refrentar cara opuesta a operación 10	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC-111		Montaje: Brazo SCARA	Nombre: porta balero inferior	Material: Solera aluminio w=3", t=1/2"
Fecha: Ene 2014		Secuencia		No. Piezas: 1
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Planeado	Planear un rectángulo de 76.2mm x 49.5 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
20	Planeado	Planear cara superior hasta obtener un espesor t= 12mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
30	Barenado	Barreno pasado Ø= 12.7 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	Sujeción chuck de cuatro mordazas
40	Mandrinado	Cavidad de 26 mm para rodamiento	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	Sujeción chuck de cuatro mordazas Cavidad para rodamiento Øint=10mm, Øext=26mm ajuste con apriete
50	Fresado en escuadra	Escalonar un rectángulo de 40mm x 49.5 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
60	Fresado de cavidades	Fresar cavidades de 5 mm	Fresadora vertical F01, taller mecánico UAM AZC	
70	Fresado de cavidades	Avellanado con profundidad de 3.6 mm	Fresadora vertical F01, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC-112		Montaje: Brazo SCARA	Nombre: Porta balero superior	Material: Solera aluminio w=2", t=1/2"
Fecha: Ene 2014		Secuencia		No. Piezas: 1
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Planeado	Planear un cuadrado de 50mm x 50 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
20	Planeado	Planear cara superior hasta obtener un espesor t= 12mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
30	Mandrinado	Cavidad de 26 mm para rodamiento	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	Sujeción chuck de cuatro mordazas Cavidad para rodamiento Øint=10mm, Øext=26mm ajuste con apriete
40	Fresado de cavidades	Fresar cavidades de 5 mm	Fresadora vertical F01, taller mecánico UAM AZC	
50	Planeado	Chaflan a 45°	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC-113		Montaje: Brazo SCARA	Nombre: Camisa	Material: Nylamid Ø= 1"
Fecha: Ene 2014		Secuencia		No. Piezas: 1
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Refrentado	Refrentar Ø= 25.4 mm dos caras par una longitud de 35 mm.	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
20	Barrenado	Barreno pasado Ø= 12.7mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	

5.3.3 Eslabón dos

Número:SC-201		Montaje: Brazo SCARA	Nombre: Eslabón 2 inferior	Material: Solera de aluminio w=2" t=¼"
Fecha: Feb 2014		Secuencia		No. Piezas: 1
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Planeado	Planear rectángulo de 260 x 50.8 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
20	Fresado de cavidades	Barrenos pasados de Ø=6 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
30	Fresado de cavidades	Barreno pasado de Ø=22.22 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
40	Fresado de cavidades	Barreno pasado de Ø=15.87 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
50	Fresado de cavidades	Barreno pasado de Ø= 8 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
60	Plaeado	Chaflan a 45°	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC-202		Montaje: Brazo SCARA	Nombre:	Material: Solera de aluminio w=2" t=¼"
Fecha: Feb 2014		Secuencia		No. Piezas: 1
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Planeado	Planear rectángulo de 260 x 50.8 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
20	Fresado de cavidades	Barrenos pasados de Ø=4 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
30	Fresado de cavidades	Barrenos pasados de Ø=5 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
40	Fresado de cavidades	Barreno pasado de Ø=22.22 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
50	Fresado de cavidades	Barreno pasado de Ø=15.87 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
60	Fresado de cavidades	Barreno pasado de Ø= 8 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
70	Plaeado	Chaflan a 45°	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC-203		Montaje: Brazo SCARA	Nombre: Camisa	Material: Nylamid Ø=1"
Fecha: Feb 2014		Secuencia		No. Piezas: 1
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Refrentado	Refrentar Ø=25.4 mm dos caras para longitud de 47mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
20	Barrenado	Barreno pasasdo Ø=12.7mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC-204		Montaje:BrzoSCARA	Nombre:Flecha polea	Material:Bronce Ø=7/8"
Fecha:Feb 2014		Secuencia		No. Piezas:1
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Refrentado	Refrentar Ø=22.22 dos caras para longitud de 56.2 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
20	Cilindrado	Cilindrar a Ø=16.34	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	Ajuste para polea
30	Cilindrado	Cilindrar a Ø=16.2	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
40	Cilindrado	Cilindrar a Ø=14.29	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	Ajuste para balero Øint=9/16"
50	Ranurado	Ranurar 1mm con profundidad de 0.43 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	Cavidad para seguro externo 9/16"
60	Barrenado	Barreno pasado Broca F (Ø=0.257")	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	Para rosca interna
70	Barrenado	Barreno Ø=8 mm profundidad de 40mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
80	Barrenado	Barreno Ø=8 mm profundidad de 10mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
90	Roscado	Rosca interna Machuelo 5/16 – 18 UNC	Manual	

Número:SC-205		Montaje:BrzoSCARA	Nombre:Base balero	Material:Solera de aluminio w=2" t= 1/2"
Fecha:Feb 2014		Secuencia		No. Piezas:1
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Planeado	Cuadrado de 50.8 x 50.8 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
20	Planeado	Planear superficie hasta obtener t=12mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
30	Mandrinado	Cavidad de 34.925mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	Sujeción chuck de cuatro mordazas Cavidad para rodamiento Øint = 9/16" Øext=1 3/8"
40	Fresado de cavidades	Barrenos pasados Ø=5 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
50	Planeado	Chaflán 45°	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC-206		Montaje:BrzoSCARA	Nombre:Porta balero	Material:Solera de aluminio w=2" t= 1/2"
Fecha:Feb 2014		Secuencia		No. Piezas:2
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Planeado	Planear rectángulo de 50.8 x 20 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
20	Planeado	Planear superficie hasta espesor t=7.75 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
30	Mandrinado	Cavidad para balero lineal Ø15.87	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	Sujeción Chuck de cuatro mordazas Balero lineal Øint= 3/8" Øext= 5/8"
40	Fresado de cavidades	Barrenos pasados Ø=5 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
50	Planeado	Chaflán 45°	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC-208		Montaje: Brazo SCARA	Nombre: Flecha Guía	Material: Acero 1018 $\varnothing = 3/8"$
Fecha: Feb 2014		Secuencia		No. Piezas:
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Refrentado	Refrentar dos caras $\varnothing = 9.52$ mm para longitud de 400 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
20	Barrenado	Broca $\varnothing = 5/32"$ longitud de 12mm, ambas caras	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	Para machueleado
30	Roscado	Rosca interna Machuelo 3/16-24 UNC	Manual	

Número:SC-209		Montaje: Brazo SCARA	Nombre: Soporte guía sup	Material: Solera de aluminio $w = 2"$ $t = 1/4"$
Fecha: Feb 2014		Secuencia		No. Piezas:
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Planeado	Planear rectángulo 70 x 25 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
20	Barrenado	Barrenar $\varnothing = 5$ mm pasado	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
30	Barrenado	Barrenar $\varnothing = 10$ mm pasado	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
40	Planeado	Chaflán 45°	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC-210		Montaje: Brazo SCARA	Nombre: Soporte guía inferior	Material: Solera de aluminio $w = 2"$ $t = 1/4"$
Fecha: Feb 2014		Secuencia		No. Piezas:
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Planeado	Rectángulo de 76.2 x 54.2 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
20	Barrenado	Barreno pasado de $\varnothing = 5$ mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
30	Barrenado	Barreno pasado de $\varnothing = 10$ mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
40	Planeado	Planeado de cavidad para servo	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC-211		Montaje: Brazo SCARA	Nombre: Poste	Material: Nylamid $\varnothing = 1/2"$
Fecha: Feb 2014		Secuencia		No. Piezas:
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Refrentado	Refrentar $\varnothing = 1/2"$ dos caras para longitud de 47 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
20	Barrenado	Barreno pasado $\varnothing = 5.5$ mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC-212		Montaje: Brazo SCARA	Nombre: Poste motor	Material: Nylamid $\varnothing = 1/2"$
Fecha: Feb 2014		Secuencia		No. Piezas:
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Refrentado	Refrentar $\varnothing = 1/2"$ dos caras para longitud de 13.6 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
20	Cilindrado	Cilindrar a $\varnothing = 10$ mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
30	Barrenado	Barreno pasado $\varnothing = 4$ mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	

5.3.4 Motorreductor

Número:SC-213		Montaje:Motorreductor 2	Nombre: Soporte Motor	Material:perfil rectangular w=3" h= 1.5", t=1/8"
Fecha:Mzo2014		Secuencia		No. Piezas: 1
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Planeado	Planear una longitud de 63.5 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
20	Planeado	Planear 45°	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
30	Fresado de cavidades	Cavidades de 6 mm pasado	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
40	Fresado de cavidades	Cavidad de 15.87 mm pasado	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC-214		Montaje:Motorreductor 2	Nombre: Guía de flecha	Material:acrílico t=1/2"
Fecha:Mzo2014		Secuencia		No. Piezas:
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Planeado	Planear rectángulo de 70.4 mm x 38.45 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
20	Fresado de cavidades	Dos cavidades pasadas Ø=6 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
30	Fresado de cavidades	Cavidad pasada Ø=5 mm	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	

Número:SC-215		Montaje:Motorreductor 2	Nombre:Cople	Material: Aluminio Ø=5/8"
Fecha:Mzo2014		Secuencia		No. Piezas:
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Refrentado	Refrentar Ø= 15.9 mm dos caras para longitud de 20.8 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
20	Barrenado	Barrenado de Ø=4.8 pasado	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
30	Barrenado	Barrenado de Ø=6.35 mm longitud de 10.4 mm	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
30	Barrenado	Broca de Ø=5/64"	Fresadora vertical F02, taller mecánico UAM AZC	
40	Roscado	Rosca interna Machuelo 4-40 UNC	Manual	

Número:SC-216		Montaje:Motorreductor 2	Nombre:Coplemotorreductor 2	Material: Aluminio Ø=1/2"
Fecha:Mzo2014		Secuencia		No. Piezas:
No.	Operación	Descripción	Maq- Hta	Observación
10	Refrentado	Refrentar ambas caras hasta logitud de 20 mm.	Torno horizontal T09, taller mecánico UAM AZC	
20	Barrenado	Barreno pasado de 6.35 mm		
30	Barrenado	Barreno pasado de		
40				

6 Análisis y Resultados

6.1 Vinculación de la estructura mecánica, impulsores, electrónica y software de control

En esta parte del proyecto se une el conjunto de todos los componentes necesarios para operar el manipulador SCARA, las partes mecánicas ensambladas como lo indican los montajes, se acoplan con los motores y se vinculan con la parte electrónica como lo indican la fig. 4.7, esto nos lleva a programar rutinas sencillas para pruebas de control, movimiento y comportamiento.

6.2 Pruebas

Conectados todos los mecanismos se realizan pruebas principalmente para observar el comportamiento del manipulador a través del tiempo, tanto del sistema mecánico como del electrónico, de estas pruebas se desglosan las tablas 4.1 – 4.5, pues no solo enuncian las especificaciones del motor, también aclaran condiciones de operación de los eslabones.

Esto con ayuda de un pequeño banco de pruebas, al cual se ancla la base del manipulador, para, de esta manera montar los motores uno a uno y mover los eslabones en respuesta al usuario.

6.3 Resultados

El espacio de pruebas nos llevó a definir los límites reales de operación del manipulador SCARA, para el eslabón uno se reporta un radio de trabajo del eslabón uno de 188 ± 1 mm, para el eslabón dos un radio de 210.5 ± 1 mm y para el efector final una altura máxima de 350 mm.

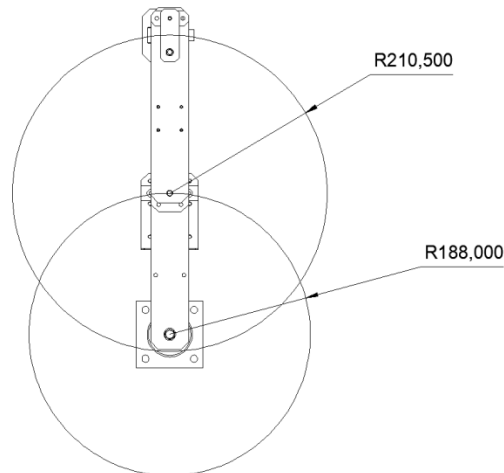


Fig. 6.1 Radio de trabajo de los eslabones

Se entrega una estructura robusta y ligera, cada eslabón es desmontable e independiente al resto de la estructura, en una mesa de 1 x 1 m, para efectos de estudio.

Se instalan los cinco propulsores que denotan los movimientos del manipulador, así como tarjetas electrónicas disponibles en el mercado nacional, compatibles con los propulsores y con el *software* Arduino.

El manipulador queda de manera operable, listo para pruebas, análisis y resultados, y como se puede apreciar dentro del diseño, logramos ilustrar los diferentes los diferentes conceptos que deben conocer los ingenieros tales como:

Procesos de manufactura, operación y elección de máquinas herramienta, ejes de transmisión, transmisión de engranajes rectos, transmisión de banda, transmisión en un tornillo sinfín, consideración de cargas, elección de elementos mecánicos (guía lineal, baleros lineales, rodamientos, seguros y tornillería) así como distintos materiales (Acero, aluminio, Nylon, Bronce,), Proceso de soldadura, dibujo normalizado y su interpretación, tolerancias (geométricas, dimensionales, de forma y de posición) elección de motores y medios electrónicos.

Se anexa una carpeta con algoritmos en un lenguaje de programación compatibles al *software* Arduino, que una vez compilados realizan rutinas que modelan aplicaciones de operación industrial.

6.4 Conclusiones

Como principal objetivo, se planteó un diseño el cual fuera de una estructura suficientemente robusta para evitar pandeo o vibraciones pero lo suficientemente ligera para sus movimientos con soltura en sus articulaciones.

Basándonos en este punto central, se diseñó una columna estructural-base la cual soporta el peso de los dos eslabones, colocando baleros de doble carga (axial y radial) los cuales nos absorben el momento generado por la extensión del brazo, pero dejando totalmente libre la articulación del hombro. Dándonos una rigidez muy sólida para evitar tanto el pandeo como su vibración del brazo en cualquier posición. Con este mismo principio se realizó la 2° articulación llamada codo, con baleros en dos puntos del eje articulado.

En cuanto al movimiento lineal para desplazarse en el eje "Y", se optó por un tornillo sin fin acoplado por una banda al impulsor motriz. Con este tipo de mecanismo se tiene una ganancia en cuanto a fuerza en el desplazamiento lineal, pero esto con una reducción en cuanto a velocidad, ejemplificando lo anterior, para realizar un movimiento de 10 cm el tiempo aproximado es de 30 a 45 s. dependiendo de las RPM. Consideramos esto bastante aceptable, ya que en sus secuencias no siempre deberá hacer el recorrido total, solamente un recorrido que le permita desplazarse libremente podrían ser 1 cm, esto dependiendo de la aplicación, y con esto podemos asegurar que no se forzara el impulsor o tendrá algún margen muy pequeño de carga. Para evitar los problemas con cargas en este desplazamiento se colocó una guía lineal la cual corre por un par de baleros lineales, los cuales absorben momentos y dan mayor fluidez en el desplazamiento.

Como sujeción se instaló una garra de robot (gripper) , articulado en muñeca por un servomotor y en la acción de sujeción por otro servomotor, por ser el último par de grados de libertad y los más alejados de la base en una posición extendida del brazo, se realizó de la forma más ligera posible. Con el uso de servomotores podemos definir la apertura parcial o completa del gripper al igual que su sujeción y también su posición de giro en muñeca, otro punto es el torque aceptable que tienen los servos para este dispositivo, dándonos una sujeción bastante firme siempre que no se exceda el peso (0.3 kg)

En cuanto al diseño se realizó de la mejor manera posible, acoplándonos a presupuestos, herramientas, motores y electrónica a nuestro alcance. En cuestiones de diseño y maquinados, para obtener una posición en la cual el error fuera mínimo se necesita un diseño de mayor precisión donde todo estuviera registrado con pernos de precisión (Paralell Pin), por cuestiones que en un principio no consideramos, nuestra inexperiencia en el uso de máquinas convencionales y la calidad de estas no se realizó así. El uso de propulsores a pasos nos entregan una muy buena precisión angular, debido a que se necesitaba más torque para mover la articulación 1 y 2 se acoplaron cajas reductoras de engranes rectos, de igual forma estas cajas reductoras tienen un cierto juego entre los engranes, para realizar un mejor trabajo y evitar este error se utilizan cajas de engranes planetarios, por cuestiones de presupuesto se optó por las de engranes rectos.

Considerando todos estos juegos e imprecisiones, y en base a las pruebas, tenemos como resultado una buena estructura mecánica con un margen de error en sus coordenadas cartesianas de +- 2mm, Consideramos que es bastante aceptable para un proyecto destinado para el uso didáctico en las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana, el cual para fines didácticos y de aprendizaje funciona bien.

La electrónica seleccionada para esta aplicación de brazo SCARA fue:

Como unidad central una tarjeta Arduino Mega 2560, gracias a sus salidas digitales, PWM, comunicación y entradas analógicas, se pueden encender luces, accionar zumbadores o mover motores. Utilizando como base una tarjeta Arduino UNO fuimos introduciéndonos al ámbito electrónico y de programación, posteriormente cambiamos por una Arduino Mega 2560 ya que ocupábamos más salidas de las que arduino uno ofrecía.

Para el control y energía de los motores a pasos se utilizaron puentes H basados en un integrado L298, esta tarjeta ya incluye sus diodos de protección y led de energizado.

Sin involucrarnos demasiado en la física de su funcionamiento electrónico aprendimos a realizar movimientos alternados en cada motor, dándonos una idea del tipo de control realizado con PLC's

La tarjeta es muy completa, con lo cual esperamos se pueda llevar a otro nivel de control en el cual por medio de sensores se realicen movimientos más autónomos.

La plataforma de programación es la misma proporcionada por Arduino como *software* libre, en el cual es un ambiente muy sencillo para el usuario, muy parecido al lenguaje de programación en C.

Como sugerencia hay que estar muy al tanto de estas tecnologías totalmente didácticas y que la Universidad puede tener acceso para difundir, ya que son muy útiles para distintas aplicaciones en el área mecánica y que día a día la plataforma Arduino va creciendo.

La programación fue sencilla, pero cumpliendo con los objetivos del proyecto. Hace falta realizar una programación mucho más detallada, elegante y amigable con el usuario, actualmente en cada posición uno debe indicar el número de pasos que desea y esto el usuario lo define acorde a una serie de cálculos, dependiendo el grado al cual quiere llegar se deberán hacer las operaciones necesarios de acuerdo a la relación de reducción en donde se le quiere dar la orden.

Para mejorar esto el programa debe realizar dichas operaciones y el usuario sólo dar datos de entrada del ángulo que desea desplazarse, el desplazamiento en "Y", el ángulo del giro de la muñeca y cuanto abrir o cerrar el gripper.

6.5 Recomendaciones

Con los fines que la Universidad Autónoma Metropolitana, precise convenientes, recomendamos dar seguimiento al presente proyecto, pues el mismo podría tener un alcance más sofisticado, al mencionar un seguimiento recomendamos la inclusión de alumnos de ingeniería, principalmente eléctrica, electrónica y en computación a aplicar su conocimiento incluyendo tecnología electrónica de movimiento y frenado más sofisticado, sensores electromagnéticos de paro, sensores de geometrías y resolución de colores, así como la respuesta en conjunto de los motores a través de las órdenes del usuario.

La inclusión de una interfaz gráfica de sencilla operación, simulación de los movimientos del manipulador, control mediante un *software* (MATLAB, LabVIEW, Visual Basic, etc.)

Todo lo anterior con la finalidad de proporcionar a la UAM-A nuevos elementos de estudio para la preparación de nuevos ingenieros.

Referencias

- [1] Introducción a la robótica, Mc Graw Hill, Subir Kumar Saha, IndianInstitute of technology, 2008
- [2] Manual de métodos de fabricación metalmecánica 4ª ed, Sergio A Villanueva Pruneda, Jorge Ramos Watanave, AGT Editor, 2005
- [3] Análisis de mecanismos y problemas resueltos, 2ª ed, Romy Pérez Moreno, Alfaomega, 2006
- [4] Física universitaria, 11ª ed, Sears Semansky, Young Freedman, Pearson, 2004
- [5] Tecnología de las máquinas herramienta, 5ª ed, Steve F Krar, Albert F Check, Alfaomega, 2002
- [6] Normas Oficiales Mexicanas, material de referencia para la UEA dibujo mecánico asistido por computadora. Ing. Montes Estrada Ernesto, Ing. García Segura Pedro, Ing. Pérez Moreno Romy, 2011.
- [7] Página oficial de arduino® www.arduino.cc/es/.