

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE MECATRÓNICA

*Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero en
Mecatrónica*

PROYECTO TÉCNICO:

“DISEÑO DE UN ROBOT DELTA ADAPTADO AL SISTEMA DE
PRODUCCIÓN MODULAR DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA”

AUTORES:

FERNANDO SEBASTIÁN FAJARDO CALLE

JUAN FRANCISCO MONTALVÁN CHUMY

TUTORA:

ING. MÓNICA ALEXANDRA ROMERO SACOTO, MSC.

COTUTOR:

ING. ÁNGEL EUGENIO CÁRDENAS CADME, MSC.

CUENCA – ECUADOR

2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Fernando Sebastián Fajardo Calle con documento de identificación N° 0302041728 y Juan Francisco Montalván Chumy con documento de identificación N° 0302394952, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN ROBOT DELTA ADAPTADO AL SISTEMA DE PRODUCCIÓN MODULAR DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero en Mecatrónica*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre de 2021.



Fernando Sebastián Fajardo Calle
C.I. 0302041728



Juan Francisco Montalván Chumy
C.I. 0302394952

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “**DISEÑO DE UN ROBOT DELTA ADAPTADO AL SISTEMA DE PRODUCCIÓN MODULAR DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**”, realizado por Fernando Sebastián Fajardo Calle y Juan Francisco Montalván Chumy, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre de 2021.

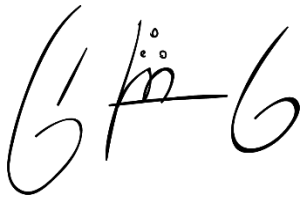
A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Mónica', with a large, stylized flourish at the end.

Ing. Mónica Alexandra Romero Sacoto, MSc.
C.I. 0302209911

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Fernando Sebastián Fajardo Calle con documento de identificación N° 0302041728 y Juan Francisco Montalván Chumy con documento de identificación N° 0302394952, autores del trabajo de titulación: “DISEÑO DE UN ROBOT DELTA ADAPTADO AL SISTEMA DE PRODUCCIÓN MODULAR DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA” certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, noviembre de 2021.



Fernando Sebastián Fajardo Calle
C.I. 0302041728



Juan Francisco Montalván Chumy
C.I. 0302394952

DEDICATORIAS

Este trabajo está dedicado con mucho amor para mi madre quien ha sido una fuente constante de apoyo y cariño a lo largo de mi vida, de igual manera este trabajo está dedicado a mi abuela, sin el apoyo de estas dos personas ninguno de mis logros hubiera sido posible.

Sebastián Fajardo

A mi madre, sin el apoyo, confianza y amor de ella no sería la persona quien soy, a mi abuelita que desde el cielo sabe que mis éxitos son gracias y para ella y a todas aquellas personas que a lo largo de la vida me extendieron una mano y me colaboraron con sus conocimientos a lo largo de mi vida.

Juan Montalván

ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Problema de Estudio	1
2.1. Antecedentes	1
2.2. Importancia y alcances	1
2.3. Delimitación	2
2.4. Problema General	2
2.5. Problemas específicos	3
3. Objetivos	3
3.1. Objetivo General	3
3.2. Objetivos Específicos	3
4. Hipótesis	3
4.1. Hipótesis general	3
4.2. Hipótesis específicas	4
5. Matriz de consistencia	4
6. Marco Teórico	6
6.1. Morfología de Robots	6
6.1.1. Estructura Mecánica	6
6.1.2. Transmisiones	8
6.1.3. Actuadores	8
6.1.4. Sensores	8
6.1.5. Elementos Terminales	9
6.2. Robot Delta	9
6.3. Cinemática	10
6.3.1. Cinemática Directa	10
6.3.2. Cinemática Inversa	10
6.4. Dinámica	10
6.5. Espacio de Trabajo	10
6.6. Deformaciones Plásticas y Elásticas	11
6.7. Criterio de Von Mises	11
6.8. Análisis Jacobiano en Robot Paralelos	11
6.9. Jerk en Robótica	11

6.10.	Repetibilidad y Precisión en la Robótica	12
6.11.	Proceso de Control de Ingeniería	12
6.11.1.	Controlador PID	12
6.11.2.	Control Feedforward	12
6.11.3.	Efecto Windup	12
7.	Marco metodológico	13
7.1.	Identificación de los parámetros iniciales para el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema	13
7.1.1.	Sistema de producción MPS 500	13
7.1.1.1.	Módulos	13
7.1.2.	Identificación del Entorno de Trabajo	13
7.1.2.1.	Toma de medidas y reconocimiento del Entorno del Trabajo	14
7.1.3.	Estimación de la Carga Útil	15
7.1.4.	Identificación del Espacio de Trabajo del Robot Delta	15
7.2.	Propuesta del Diseño de un Robot Delta para el Sistema de Producción Modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el Fin de Generar Procesos Paralelos para Complementar de Manera Eficiente la Funcionalidad del Sistema.	15
7.2.1.	Boceto del Robot Delta	16
7.2.2.	Análisis Cinemático Inverso	16
7.2.2.1.	Parámetros iniciales y ecuaciones para el Diseño Cinemático Inverso	17
7.2.3.	Análisis Dinámico	22
7.2.3.1.	Parámetros Geométricos iniciales	22
7.2.3.2.	Matriz Jacobiana	23
7.2.3.3.	Hipótesis simplificada	23
7.2.3.4.	Parámetros Dinámicos	23
7.2.3.5.	Modelo dinámico basado en el Principio Virtual de Trabajo	25
7.2.3.6.	Simulación por Simscape	28
7.2.4.	Control del robot	30
7.2.5.	Cálculo de pernos	31
7.3.	Verificar el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema.	33
7.3.1.	Obtención del espacio de trabajo en MATLAB	33
7.3.2.	Análisis de esfuerzos mediante el software ANSYS	34
7.3.3.	Simulación del desplazamiento del efector final en Fusion 360	38

8.	Resultados	40
8.1.	Resultados de la identificación de los parámetros iniciales	40
8.1.1.	Soporte para el robot	40
8.1.2.	Componentes	41
8.2.	Resultados de la Propuesta del diseño de un robot delta	47
8.2.1.	Resultados del análisis cinemático	48
8.2.2.	Resultados del análisis dinámico	48
8.2.2.1.	Motor seleccionado	49
8.2.3.	Resultados del cálculo de pernos	49
8.3.	Resultados de la Verificación el Diseño	49
8.3.1.	Verificación del Espacio de Trabajo	50
8.3.2.	Verificación de Esfuerzos y Deformaciones generados en el Robot Delta	50
9.	Conclusiones	51
10.	Recomendaciones	52
11.	Referencias Bibliográficas	52

Lista de Tablas

Tabla 1: Cronograma de actividades	2
Tabla 2: Matriz de consistencia	5
Tabla 3: Tabla de dimensiones de recorrido	15
Tabla 4: Parámetros Iniciales	17
Tabla 5: Tabla de Ganancias	31
Tabla 6: Tabla de Variables	31
Tabla 7: Medidas para el soporte del robot	40
Tabla 8: Tabla de Componentes	41
Tabla 9: Torques Obtenidos	49
Tabla 10: Factores Calculados para el Perno M3	49
Tabla 11: Factores Calculados para el Perno M6	49
Tabla 12: Comparación entre el área de trabajo obtenido y el propuesto	50
Tabla 13: Comparación entre esfuerzo simulado y el permitido	50
Tabla 14: Comparación entre esfuerzo simulado y permitido	51

Lista de Figuras

Fig. 1. Grados de libertad de cada tipo de articulación	6
Fig. 2. Cadena cinemática: a) abierta y b) cerrada.	7
Fig. 3. Configuraciones más frecuentes en robots industriales	7
Fig. 4. Estructuras paralelas: a) Plataforma de Stewart-Gough. b) Robot industrial Paralelo	8
Fig. 5. Esquemático de un Robot Delta	9
Fig. 6. Entorno de trabajo (Autores)	14
Fig. 7. Toma de medidas para el entorno de trabajo (Autores)	14
Fig. 8. Toma de medidas para la pieza (Autores)	15
Fig. 9. Boceto del robot Delta (Autores)	16
Fig. 10. Esquemático del robot delta (Autores)	16
Fig. 11. Geometría del robot (Autores)	17
Fig. 12. Geometría del robot Delta con respecto al Plano YZ (Autores)	18
Fig. 13. Diagrama geométrico en el plano YZ (Autores)	18
Fig. 14. Diagrama geométrico para el cálculo de θ_2 y θ_3 (Autores)	19
Fig. 15. Parámetros Geométricos del Robot Delta (Autores)	22
Fig. 16. Esquemático del robot de simscape (Autores)	28
Fig. 17. Señal de posición (Autores)	29
Fig. 18. Accionamiento del Efector final (Derecha) Inicio de la simulación, (Izquierda) Posición final de la simulación (Autores)	29
Fig. 19. Control de posición PID (DYNAMIXEL 2021)	30
Fig. 20. Área de trabajo obtenida en el eje x, y (Autores)	34
Fig. 21. Área de trabajo obtenida en el eje x, y, z (Autores)	34
Fig. 22. Robot delta simulado en ANSYS (Autores)	35
Fig. 23. Esfuerzo equivalente (Autores)	35
Fig. 24. Deformación total (Autores)	36
Fig. 25. Módulo de sujeción simulado en ANSYS (Autores)	36
Fig. 26. Esfuerzo equivalente en el módulo de sujeción (Autores)	37
Fig. 27. Esfuerzo equivalente en las escuadras (Autores)	37
Fig. 28. Deformación total en el módulo de la sujeción (Autores)	38
Fig. 29. Efector final ubicado en la bandeja de almacenamiento (Autores)	39
Fig. 30. Efector final ubicado en la posición de la banda transportadora (Autores)	39
Fig. 31. Módulo Final del Robot Delta (Autores)	40
Fig. 32. Área de Trabajo Propuesto (Autores)	41
Fig. 33. Área de trabajo propuesto con ejes coordenados (Autores)	48
Fig. 34. Gráfica de la torques obtenida de la simulación (Autores)	48

1. Introducción

La presente investigación se centra en el diseño de un robot delta enfocado al sistema MPS 500 de la Universidad Politécnica Salesiana. Los robots delta son robots paralelos que tienen características que los diferencian de los robots seriales, estas son: una estructura más rígida, precisión de orientación, posición apropiada de los actuadores y buena repetitividad. (Codourey, A., Clavel, R. 1991).

Esta investigación nace debido a que los robots que se encuentran en estos días en la industria no son enfocados a la manipulación de objetos livianos (0 a 50 g) a grandes velocidades, debido a este motivo, los robots paralelos han tomado gran interés en varias aplicaciones como el manejo, ensamble, tareas de embalaje, maquinaria a grandes velocidades, varias aplicaciones en el área médica y de la industria espacial.

Para esta investigación primeramente se ha establecido un área de trabajo dentro de la cual el robot realizará sus actividades, con esta área de trabajo se plantea el diseño del robot del cual se obtienen los modelos cinemáticos y dinámicos donde se calculan datos como los torques de los actuadores a ser utilizados, al final se verifica el correcto funcionamiento del robot delta y que cumplan los objetivos de diseño planteados.

En este trabajo se busca identificar los parámetros iniciales para el diseño del robot, proponer el diseño de un robot delta adaptado al sistema MPS 500 y verificar el funcionamiento de este sistema por medio de software para asegurar que cumplan con los parámetros de diseño iniciales.

2. Problema de Estudio

La Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca cuenta con un laboratorio de producción modular que maneja el sistema MPS 500 de la casa comercial FESTO, siendo este un sistema didáctico, con varias estaciones y flexible. Dentro de este sistema se ha identificado la necesidad de la implementación de un robot delta, el cual complementará la formación profesional de los estudiantes de las diferentes carreras que utilizan este sistema.

2.1. Antecedentes

En la actualidad la industria de la robótica no se encuentra adaptada de manera óptima a la manipulación de objetos de peso menor a una gran velocidad y en la actualidad se ha notado un incremento de aplicaciones donde se necesiten robots con estas características también conocidas como Pick and Place de alta velocidad, esto se evidencia en sectores industriales de electrónica, farmacia, comida y demás industrias.

2.2. Importancia y alcances

En el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana, se conoce de la ausencia del módulo de un robot delta que limita el aprendizaje del estudiante en aspectos

que son emergentes en la industria. Con esto mencionado, este proyecto busca solventar esta ausencia y complementar el MPS y el aprendizaje del estudiante.

2.3. Delimitación

- Delimitación Geográfica: Este Proyecto de titulación se realizó en la Universidad Politécnica Salesiana, ubicada Calle Vieja 12-30 y Cuenca.
- Delimitación temporal: El proyecto de titulación se elaboró en el año 2021 en un lapso de 6 meses como se muestra en el cronograma de la tabla 1.

Tabla 1: Cronograma de actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES							
OBJETIVO ESPECÍFICO	ACTIVIDAD	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
Identificar los parámetros iniciales para el diseño de un robot delta para el MPS de la UPS con el fin de generar procesos paralelos complementando de manera eficiente la funcionalidad del sistema.	-Revisión bibliográfica.	x	-	-	-	-	-
	-Establecimiento de las variables para la propuesta.	x	-	-	-	-	-
	-Establecimiento de criterios de diseño	x	-	-	-	-	-
	-Establecer las condiciones de trabajo	x	-	-	-	-	-
Proponer el diseño de un robot delta para el MPS de la UPS con el fin de generar procesos paralelos complementando de manera eficiente la funcionalidad del sistema.	-Definir los mecanismos	-	x	-	-	-	-
	-Diseñar el modelo mecánico del prototipo	-	x	-	-	-	-
	-Definir el funcionamiento electrónico	-	-	x	-	-	-
	-Diseño de la tarjeta electrónica	-	-	x	-	-	-
	-Programar el algoritmo de control	-	-	-	x	-	-
Verificar el diseño de un robot delta para el MPS de la UPS con el fin de generar procesos paralelos complementando de manera eficiente la funcionalidad del sistema.	-Simular el sistema electrónico	-	-	-	-	x	-
	-Simular el diseño mecánico	-	-	-	-	x	-
	-Realizar pruebas del algoritmo de control	-	-	-	-	x	-
	-Rediseñar el prototipo según criterios de optimización	-	-	-	-	-	x

Fuente: Autores

2.4. Problema General

¿Es posible diseñar un robot delta para el sistema de producción modular de la UPS con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema?

2.5. Problemas específicos

- ¿Se podrá identificar los parámetros iniciales para el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la UPS con el fin de generar procesos paralelos complementando de manera eficiente la funcionalidad del sistema?
- ¿Es posible proponer el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la UPS con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema?
- ¿Se podrá verificar el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la UPS con el fin de generar procesos paralelos complementando de manera eficiente la funcionalidad del sistema?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Diseñar un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema.

3.2. Objetivos Específicos

- Identificar los parámetros iniciales para el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema.
- Proponer el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema.
- Verificar el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema.

4. Hipótesis

4.1. Hipótesis general

- Se diseñará un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos para complementar la funcionalidad del sistema.

4.2. Hipótesis específicas

- Se identificarán los parámetros iniciales para el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos para complementar la funcionalidad del sistema.
- Se propondrá el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos para complementar de manera eficiente la funcionalidad del sistema.
- Se verificará el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema.

5. Matriz de consistencia

Tabla 2: Matrix de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO	
¿Es posible diseñar un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema?	Diseñar un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema.	Se diseñará un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos para complementar la funcionalidad del sistema.	VD: Módulo de producción modular VI: Diseño	Robots delta Planta de producción modular	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO	
¿Se podrá identificar los parámetros iniciales para el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema?	Identificar los parámetros iniciales para el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema.	Se identificará los parámetros iniciales para el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos para complementar la funcionalidad del sistema.	VD: Módulo de producción modular VI: Diseño	Cinemática Robots delta	
¿Es posible proponer el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema?	Proponer el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema.	Se propondrá el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos para complementar la funcionalidad del sistema.	VD: Módulo de producción modular VI: Diseño	Cinemática Dinámica Robots Delta	
¿Se podrá verificar el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema?	Verificar el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema.	Se verificará el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos para complementar la funcionalidad del sistema.	VD: Módulo de producción modular VI: Diseño	Cinemática Robots paralelos Procesos modulares	

Fuente: Autores

6. Marco Teórico

Para el diseño de un robot Delta se requiere una base de fundamentos teóricos que se encuentran postulados en varios temas debido a esto es fundamental tener una claridad sobre los conceptos que envuelve al robot Delta.

6.1. Morfología de Robots

Los robots están constituidos por las siguientes partes: estructura mecánica, transmisiones, sistema de accionamiento, sistema sensorial, sistema de potencia y control y elementos terminales. Comprendiendo todo esto se opta por describir cada uno de estos puntos. (Barrientos, 2007).

6.1.1. Estructura Mecánica

De manera mecánica un robot está unido por una serie de elementos o eslabones que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos. La naturaleza física de los robots manipuladores industriales guarda una similitud con la anatomía del brazo humano por lo que para hacer referencia a las partes mecánicas se usan términos del cuerpo humano como codo, antebrazo, muñeca (Barrientos, 2007).

Cada movimiento independiente que una articulación puede realizar con respecto a la anterior se le denomina grado de libertad (GDL). En la figura 1 se muestra el número de GDL de cada tipo de articulación, de esta gráfica se puede observar que solo 3 tipos de articulaciones tienen un solo grado de libertad. En la práctica de la robótica sólo se emplean las articulaciones de rotación y prismática (Barrientos, 2007).

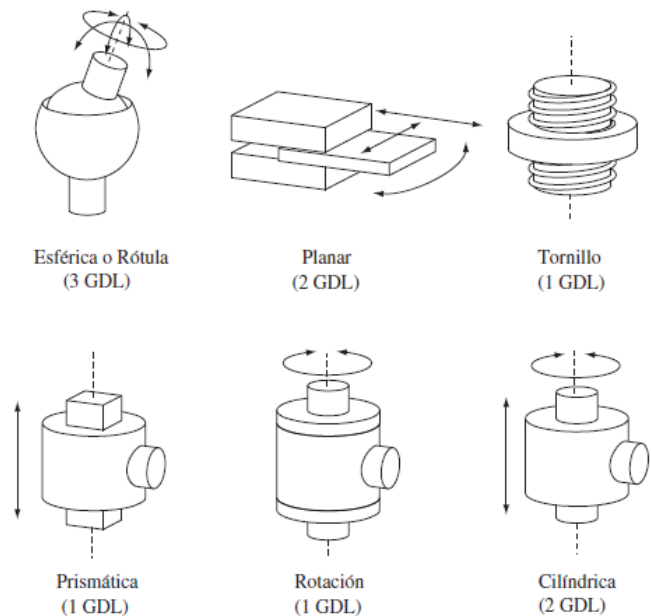


Fig. 1. Grados de libertad de cada tipo de articulación

Cuando una cadena cinemática se puede llegar desde cualquier eslabón a cualquier otro mediante al menos 2 caminos se trata con una cadena cinemática cerrada. Cuando solo hay un camino posible se dirá que es una cadena cinemática abierta como se ve en la Figura 2. (Barrientos, 2007).

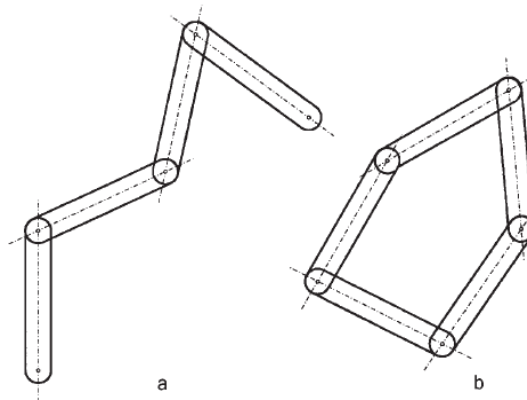


Fig. 2. Cadena cinemática: a) abierta y b) cerrada.

Para el caso de robots con cadena cinemática abierta, las combinaciones más frecuentes son las que se observan en la figura 3.

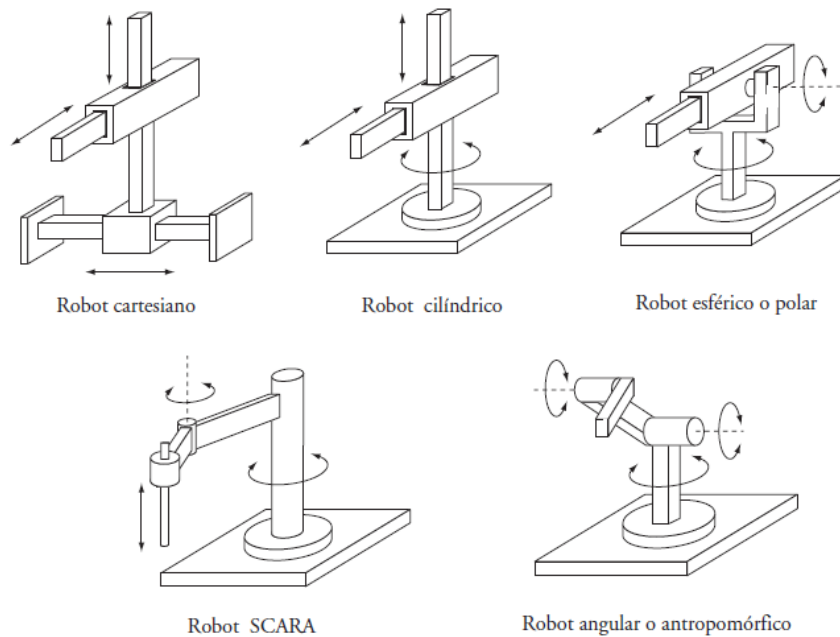


Fig. 3. Configuraciones más frecuentes en robots industriales

Los robots con cadena cinemática cerrada y en particular los robots denominados “estructura paralela” son de frecuencia menor, por su composición cinemática el estudio de estos se aborda de manera independiente a la de los robots de cadena abierta. En la figura 4 se tiene la representación de una estructura paralela llamada como plataforma de Stewart Gough y un robot paralelo industrial (Barrientos, 2007).



Fig. 4. Estructuras paralelas: a) Plataforma de Stewart-Gough. b) Robot industrial Paralelo

6.1.2. Transmisiones

Las transmisiones en pocas palabras son elementos encargados de transmitir el movimiento desde los actuadores hacia las articulaciones. El robot mueve su extremo con aceleraciones elevadas para esto es de suma importancia reducir el momento de inercia, del mismo modo los pares estáticos que deben vencer los actuadores dependen directamente de la distancia de las masas al actuador. Por estos motivos se tiene en cuenta que los actuadores estén lo más cerca posible de la base del robot y que sean pesados. Esta circunstancia condiciona a los sistemas de transmisión que trasladan el movimiento hasta las articulaciones. Estos sistemas deben tener ciertas características básicas: tamaño y peso reducido, no deben tener juegos u holguras considerables y deben tener transmisiones con gran rendimiento. Por último, se debe tener en cuenta que la transmisión sea capaz de soportar un funcionamiento continuo a un par elevado y entre grandes distancias (Barrientos, 2007).

6.1.3. Actuadores

La misión de los actuadores es general el movimiento de los elementos según las órdenes de la unidad de control. Para el diseño de un robot se pueden considerar actuadores neumáticos, hidráulicos o eléctricos. Cada uno de estos sistemas presentan características diferentes como puede ser potencia, controlabilidad, peso y volumen, precisión, velocidad, mantenimiento, coste (Barrientos, 2007).

6.1.4. Sensores

La precisión, velocidad e inteligencia precisa y adecuada de los robots depende de que se tenga el conocimiento del estado de este y de su entorno toda esta información se consigue con los denominados sensores, los internos son los que nos dan información del estado de este mientras los externos del entorno (Barrientos, 2007).

6.1.5. Elementos Terminales

Estos elementos también conocidos como efectores finales son los encargados de interactuar directamente con el entorno del robot, estos pueden ser tanto elementos de aprehensión como herramientas. Estos elementos van a depender de la aplicación por ende van a ser diseñados para cada tipo de trabajo (Barrientos, 2007).

6.2. Robot Delta

Un robot Delta es un tipo de robot paralelo que consta de tres brazos conectados a juntas universales en la base (Figura 5). La característica clave del diseño es el uso de paralelogramos en los brazos, que mantiene la orientación del efector final. Un paralelogramo permite que un enlace de salida permanezca en una orientación fija con respecto a un enlace de entrada. El uso de tres de estos paralelogramos restringe completamente la orientación de la plataforma móvil, que permanece solo con tres grados de libertad puramente traslacionales. Los robots Delta tienen popular uso en las fábricas de picking y empaque porque pueden ser bastante rápidos, algunas ejecutan hasta 200 picks por minuto. Tiene cuatro grados de libertad: tres traslacionales y uno rotacional.

La base del robot está montada sobre el espacio de trabajo. Todos los actuadores están ubicados en esta base. Desde la base, se extienden tres brazos articulados centrales. Los brazos suelen estar hechos de material compuesto ligero y los extremos de los tres brazos están conectados a una pequeña plataforma triangular (Taghirad., 2013)

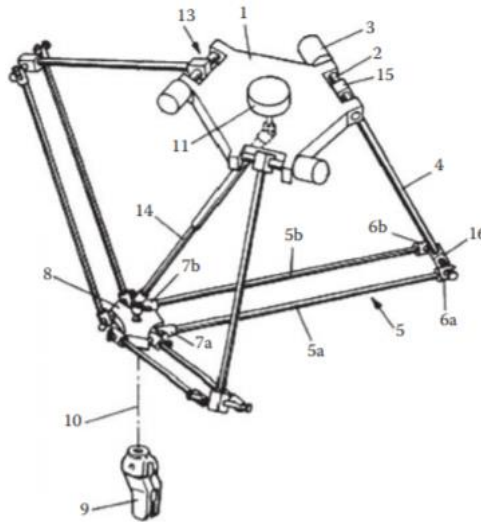


Fig. 5. Esquemático de un Robot Delta (Clavel. 2007)

6.3. Cinemática

La cinemática es la ciencia del movimiento donde se trata a este sin tomar en cuenta las fuerzas que la causan. En la cinemática se estudia la posición, velocidad, aceleración y las derivadas de orden mayor de la posición de las variables con respecto al tiempo o cualquier otra variable (Barrientos, 2007).

6.3.1. Cinemática Directa

La cinemática directa permite la posición y orientación del efector final ser expresada como una función de la unión de variables de la estructura mecánica con respecto al marco de referencia (Barrientos, 2007).

6.3.2. Cinemática Inversa

Teniendo una ubicación deseada para el efector final es necesario determinar el ángulo o la posición traslacional de las uniones del robot para así colocarlas en la posición correcta para ubicar al efector final. La solución de la cinemática inversa de un robot delta consiste en la transformación de la posición del efector final en la posición angular de los 3 brazos (Tsai, 1999).

6.4. Dinámica

La dinámica se encarga de relacionar las variables de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y el movimiento que en él se origina, por esto el modelo dinámico de un robot tiene el objetivo de conocer la relación entre el movimiento del robot y las fuerzas implicadas en el mismo. Esta relación se genera mediante el denominado modelo dinámico que nos genera la relación matemática entre: (Barrientos, 2007)

- La localización del robot está definida por sus variables articulares o por las coordenadas de localización de su extremo y sus derivadas: velocidad y aceleración.
- Las fuerzas y pares aplicados en las articulaciones.
- Los parámetros dimensionales del robot, como longitud, masas e inercias de sus elementos.

6.5. Espacio de Trabajo

El espacio de trabajo de un mecanismo corresponde al conjunto de estados del efector final, que el mismo es capaz de alcanzar. Este conjunto de estados está limitado principalmente por la geometría del mecanismo, los rangos de trabajos de sus articulaciones y las colisiones entre los elementos que lo componen.

La determinación del espacio de trabajo de un mecanismo paralelo es una tarea de una complejidad que se incrementa a medida que el mecanismo posee más elementos y más grados de libertad (Saltaren, Puglisi & Sabater, 2017), estos son los principales espacios de trabajo:

- **Espacio de trabajo de traslación:** Todas las posibles posiciones que puede alcanzar un punto C soldado a la plataforma móvil con una orientación dada.
- **Espacio de trabajo total de orientación:** Todas las posibles posiciones que puede alcanzar un punto C soldado a la plataforma móvil con todas las orientaciones definidas dentro de un conjunto dado.
- **Espacio de trabajo de orientación:** Todas las posibles orientaciones que la plataforma móvil puede alcanzar mientras un punto C, soldado a la plataforma móvil, esté fijo en una dada posición.
- **Espacio de trabajo máximo o alcanzable:** Todas las posiciones que un punto C, soldado a la plataforma móvil, puede alcanzar al menos con una orientación.

6.6. Deformaciones Plásticas y Elásticas

Si las deformaciones causadas en un material por una carga dada desaparecen cuando esta carga es retirada se dice que el material se comporta de una manera elástica. Si las deformaciones continúan en el material se denomina que este sufrió una deformación plástica (Wypych, 2012).

6.7. Criterio de Von Mises

Este criterio se basa en el cálculo de la energía de distorsión en un material, en pocas palabras se refiere a la energía asociada con los cambios en la forma del material que no tiene similitud a la energía asociada con el cambio de volumen en el mismo material. Este criterio nos indica que un componente estructural es seguro siempre que el valor máximo de la energía de distorsión por unidad de volumen en ese material permanezca más pequeño que la energía de distorsión por unidad de volumen requerida para hacer fluir una probeta del mismo material sometida a tensión (Beer, Johnston & Mazurek, 2021).

6.8. Análisis Jacobiano en Robot Paralelos

La matriz jacobiana o simplemente jacobiana, es una matriz que transforma las velocidades de los actuadores a velocidades del efector final. Este es un elemento crítico para la generación de trayectorias de una geometría prescrita en el espacio del efector final (Tsai, 1999).

6.9. Jerk en Robótica

El término Jerk no se menciona en la literatura hasta finales del siglo XX. Básicamente describe la suavidad o falta de ella cuando hay un cambio en la aceleración. La sacudida baja (Low Jerk) se ha vuelto importante en la fabricación de semiconductores, por ejemplo, donde las cargas de baja inercia deben iniciarse y detenerse con una vibración mínima (Moritz, 2014).

6.10. Repetibilidad y Precisión en la Robótica

La repetibilidad y precisión son 2 parámetros que describen la precisión del movimiento de maquinaria y manipuladores. La precisión mide la diferencia entre la posición del actuador requerida y la que el actuador se encuentra, de la otra mano la repetitividad mide la diferencia en la posición que el actuador se encuentra entre cada diferente repetición del mismo movimiento (Giovanni & Fassi, 2012).

6.11. Proceso de Control de Ingeniería

El proceso de control en la ingeniería consiste en la manipulación de variables, controlar estas variables y procesos. La manipulación y control de estas variables usualmente corresponde al proceso de entradas y salidas respectivamente. El objetivo del proceso de control es que las variables de salida del control se comporten de la manera deseada al ajustar las variables de entrada del control (Sung, Lee & Lee, I. 2009).

6.11.1. Controlador PID

Los controladores PID son usados vastamente en la industria debido simplicidad, buen control y rendimiento. Un controlador PID consiste en 3 términos: P hace referencia al término proporcional, I hace referencia al término integral, y D es derivativo. De manera ideal la salida $u(t)$ de un controlador PID es la suma de los 3 términos.

$$u(t) = K_c e(t) + \frac{K_c}{\tau_I} \int_0^t (r(t) - y(\tau)) d\tau - K_c \tau_D \frac{de(t)}{dt}$$

Donde $e(t) = r(t) - y(t)$ es la señal de error entre la señal de referencia y la señal de salida $y(t)$, y τ_D es la ganancia derivativa del control (Wang, 2020).

6.11.2. Control Feedforward

El control Feedforward genera correcciones anticipatorias para compensar una perturbación mayor usando un sensor extra para medir las variables requeridas para el control (Wills & Finch, 2016).

6.11.3. Efecto Windup

Si un controlador contiene una parte integral, la saturación de entrada puede generar sobre impulsos grandes y con degradación en los transitorios que se debe evitar. Estos rebasamientos o impulsos grandes son generados por la parte integral. Se llama efecto Windup ya que la parte integral del controlador termina durante la limitación de la señal de entrada (Hippe, 2006).

7. Marco metodológico

7.1. Identificación de los parámetros iniciales para el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema

Para un óptimo diseño del Robot Delta primero se requiere determinar su área y espacio de trabajo. Para obtener esta información mencionada se muestran los procedimientos realizados a continuación.

7.1.1. Sistema de producción MPS 500

El sistema de producción MPS tiene como objetivo desarrollar, mejorar los conocimientos en la formación de técnicos o ingenieros especializados en el área de electrónica o mecatrónica. Puede formar a estos profesionales ya que las estaciones que conforman el MPS son los subprocesos más comunes que se pueden encontrar en el ámbito industrial automatizado. Una de las características del MPS es la libertad de combinación con otros sistemas que complementan el proceso didáctico (FESTO, 2021).

7.1.1.1. Módulos

Los módulos que están presentes forman unidades automatizadas completas que se integran fácilmente con los demás procesos presentes. Está conformado por 10 módulos o estaciones de trabajo (FESTO, 2021)

- Estación de Distribución
- Estación de Verificación
- Estación de Manipulación I
- Estación de Proceso
- Estación de Control de calidad con procesamiento de imágenes
- Estación de Ensamble con Robot
- Estación AS/RS20 (Almacenamiento)
- Estación Manipulación II
- Estación Selección
- Sistema de transporte 3000 x 500 mm (banda de transporte)

7.1.2. Identificación del Entorno de Trabajo

Uno de los parámetros de diseño considerado para el desarrollo de esta investigación es que el robot debe de verse integrado al sistema de producción MPS 500 donde se busca que trabaje paralelamente con los demás procesos, complementado de esta manera el sistema. Con este

objetivo en mente se procedió a identificar el mejor espacio físico en el entorno del sistema, donde el robot puede ser aplicado para posteriormente tomar las medidas de este entorno.

7.1.2.1. Toma de medidas y reconocimiento del Entorno del Trabajo

Se determina el entorno de trabajo para el robot delta:



Fig. 6. Entorno de trabajo (Autores)

Después de realizar un análisis del sistema se ha identificado que en la parte posterior de este existe un espacio en el cual el robot delta puede ser ubicado, tomando en cuenta que sea complementario a los demás procesos de la planta. Una vez identificada la ubicación que ocupará el robot se procedió a medir el espacio disponible. Con base en esto se comienza el diseño de nuestro robot.



Fig. 7. Toma de medidas para el entorno de trabajo (Autores)

Como se desea trabajar con las piezas que se maneja en el MPS también se tomaron las medidas de estas:



Fig. 8. Toma de medidas para la pieza (Autores)

7.1.3. Estimación de la Carga Útil

Se estima que la carga útil, considerando que, esta incluya el peso efector final, así como el peso de la carga a ser manipulada sea de máximo 1 Kg.

7.1.4. Identificación del Espacio de Trabajo del Robot Delta

Como parámetro para identificar el espacio de trabajo se establece la distancia total que el efector final debe poder recorrer en el eje x, y, z, haciendo que el espacio de trabajo abarque desde la cinta transportadora hasta el almacenaje destinado en el módulo. Para esto se plantea un cilindro con las siguientes medidas:

Tabla 3: Tabla de dimensiones de recorrido

DIÁMETRO	30 CM
ALTO	20 CM

Fuente: Autores

7.2. Propuesta del Diseño de un Robot Delta para el Sistema de Producción Modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el Fin de Generar Procesos Paralelos para Complementar de Manera Eficiente la Funcionalidad del Sistema.

Con los parámetros iniciales establecidos se prosigue a plantear la parte matemática del robot delta lo cual se explica a continuación.

7.2.1. Boceto del Robot Delta

Para el análisis cinemático y dinámico que tenemos en el punto 7.1 como parte inicial se necesita proponer inicialmente un boceto de cómo será el robot delta, Por ende, se tiene la figura 9.

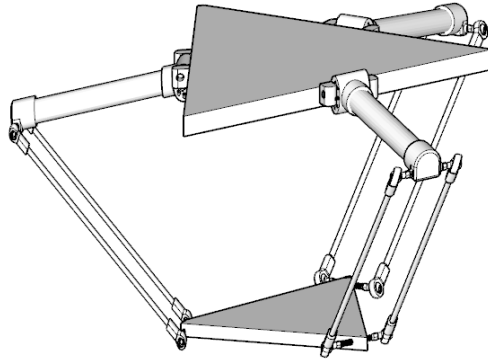


Fig. 9. Boceto del robot Delta (Autores)

7.2.2. Análisis Cinemático Inverso

Conociendo la posición final a la cual el efector final debe llegar se necesita determinar los ángulos necesarios para los motores de los 3 brazos, este proceso es llamado cinemática inversa. En la Figura 10 se tiene el esquema cinemático del robot delta, se puede observar que las plataformas o platos son 2 triángulos equiláteros. Los motores se encuentran colocados en la plataforma de color verde y la plataforma móvil o del efector final es la de color rosado. Los ángulos de las uniones son θ_1 , θ_2 , θ_3 y el punto E_0 es la posición final del efector final con las coordenadas x_0, y_0, z_0 .

Para resolver la cinemática inversa se tiene que crear una función en relación con las coordenadas del punto E_0 que nos regrese los valores de θ_1 , θ_2 , θ_3 .

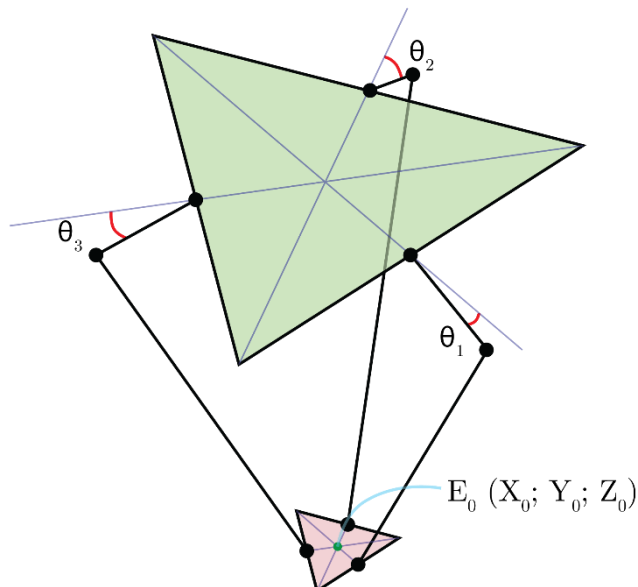


Fig. 10. Esquemático del robot delta (Autores)

7.2.2.1. Parámetros iniciales y ecuaciones para el Diseño Cinemático Inverso

Para este punto se establecen los nombres o parámetros de la geometría del robot, basado en la figura 11 se establece lo mostrado en la tabla 4.

Tabla 4: Parámetros Iniciales

COMPONENTE	DESIGNACIÓN
Lado de la plataforma superior	f
Lado de la plataforma del efector final	e
Largo del Bicep	rf
Largo del antebrazo	re

Fuente: Autores

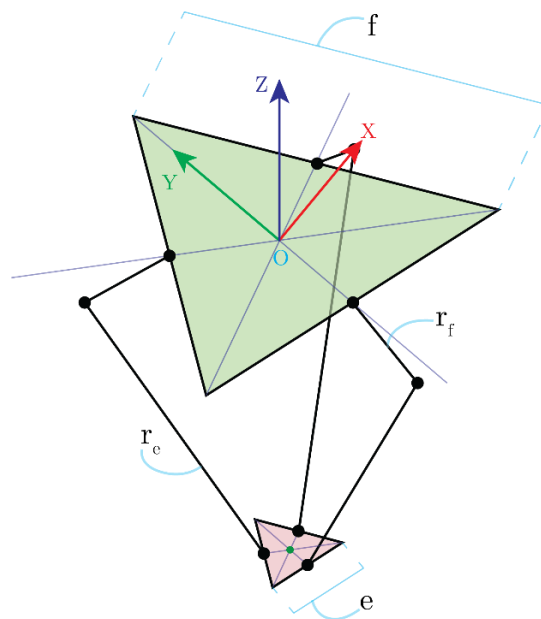


Fig. 11. Geometría del robot (Autores)

Una vez obtenidas las designaciones continuamos, gracias al diseño del robot la unión llamada $F1J1$ como se ve en la figura 12 sólo puede rotar en el plano YZ que forma un círculo con centro en $F1$ y un radio de medida Rf . En oposición a $F1, J1$ y $E1$ son llamados uniones universales, esto significa que $E1J1$ pueden rotar de manera libre en relación $E1$ formando una esfera con centro en $E1$ y con un radio Re .

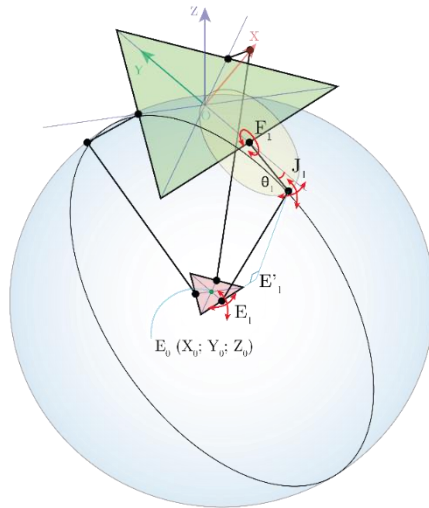


Fig. 12. Geometría del robot Delta con respecto al Plano YZ (Autores)

La intersección de esta esfera y el plano YZ es un círculo con su centro en el punto E'_1 y con radio $E'_1 J_1$ donde E'_1 es la proyección del punto E_1 en el plano YZ . El punto J_1 ahora se le denomina la intersección de 2 círculos de radio conocido con centros en E'_1 y F_1 . Y si se tiene el valor de J_1 se puede calcular el ángulo θ_1 .

Con todo esto planteado se procede a calcular las ecuaciones del plano YZ para el ángulo θ_1 basándose en la figura 13.

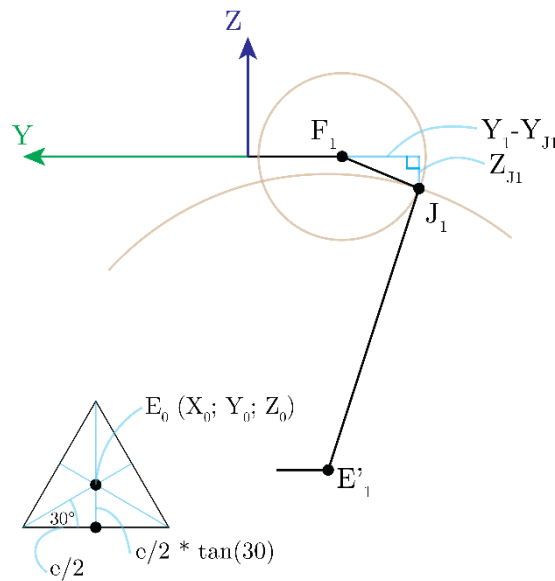


Fig. 13. Diagrama geométrico en el plano YZ (Autores)

$$E(x_0, y_0, z_0)$$

$$EE_1 = \frac{e}{2} \tan \tan 30^\circ = \frac{e}{2\sqrt{3}}$$

$$E_1 \left(x_0, y_0 - \frac{e}{2\sqrt{3}}, z_0 \right) \rightarrow E'_1 \left(0, y_0 - \frac{e}{2\sqrt{3}}, z_0 \right)$$

$$E_1 E'_1 = x_0 \rightarrow E'_1 J_1 = \sqrt{E_1 J_1^2 - E_1 E_1'^2} = \sqrt{r_e^2 - x_0^2}$$

$$F_1 \left(0, -\frac{f}{2\sqrt{3}}, 0 \right)$$

$$\begin{aligned} \{(y_{J_1} - y_{F_1})^2 + (z_{J_1} - z_{F_1})^2 = r_f^2 (y_{J_1} - y_{E_1})^2 + (z_{J_1} - z_{E_1})^2 = r_e^2 - x_0^2 \} &\rightarrow \left\{ \left(y_{J_1} + \frac{f}{2\sqrt{3}} \right)^2 + z_{J_1}^2 \right. \\ &= r_f^2 \left(y_{J_1} - y_0 + \frac{e}{2\sqrt{3}} \right)^2 + (z_{J_1} - z_0)^2 = r_e^2 - x_0^2 \} \rightarrow J_1(0, y_{J_1}, z_{J_1}) \end{aligned}$$

$$\theta_1 = \left(\frac{z_{J_1}}{y_{F_1} - y_{J_1}} \right)$$

Estas ecuaciones algebraicas se obtienen gracias a la elección de un buen plano de referencia que es la unión F_1J_1 que se mueve solo en el plano YZ de esta manera se puede omitir totalmente la coordenada X .

Para los demás ángulos θ_2 y θ_3 se usa simplemente la simetría del robot delta, primeramente, se rota el sistema de coordenadas XY alrededor del eje Z unos 120° grados en el sentido contrario de las manecillas del reloj como se ve en la figura 11.

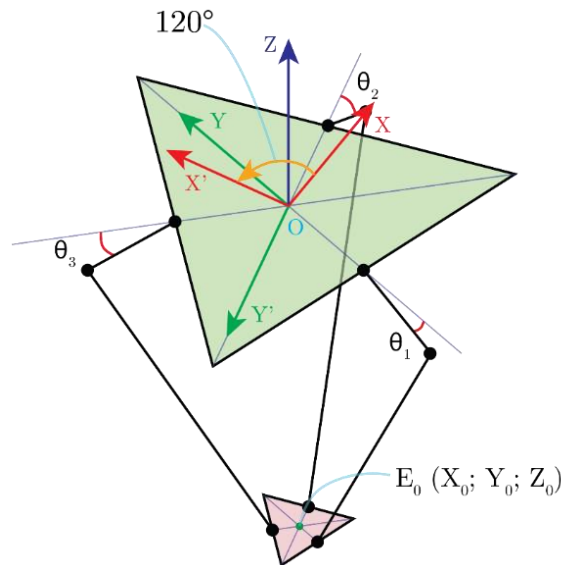


Fig. 14. Diagrama geométrico para el cálculo de θ_2 y θ_3 (Autores)

De esta manera se tiene un marco de referencia nuevo $X'Y'Z'$ en este nuevo plano se puede encontrar el ángulo θ_2 usando el mismo algoritmo para θ_1 , el único cambio que se necesita es calcular las coordenadas x'_0 y y'_0 para el punto E_0 que se puede encontrar de manera fácil al usar la matriz de rotación correspondiente iRR . Para θ_3 se tiene que el plano de referencia se rota en el sentido de las manecillas del reloj (Ángeles, 1997; Pierrot, Fournier & Dauchez, 1991; Hervé & Sparacino, 1992).

$$\theta_2 = \theta_1 + 120^\circ$$

$$\theta_3 = \theta_2 + 240^\circ$$

$$iRR = [\cos\lambda_i \quad -\sin\lambda_i \quad 0 \quad \sin\lambda_i \quad \cos\lambda_i \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1]$$

```

%.....CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL ROBOT.....
OA=150;
l1=250;
GD=50;
l2=335;

%.....CARACTERISTICAS DEL ANALISIS.....
h = 15;
i = 1;
j = 3;
coord = [0 0 0];

for X = -500:h:500
    for Y = -500:h:500
        for Z = -700:h:0
            pxyz = [X Y Z 1];

            %.....TETA1.....
            x0 = pxyz(1);
            y0 = pxyz(2);
            z0 = pxyz(3);

            l2_prima = sqrt(((l2).^2)-((x0).^2));
            T=OA+y0-GD;
            K= ((l2_prima).^2)-((x0).^2)-((T.^2))-((l1).^2)-((z0).^2);
            %////////
            e1= (2*T*l1)+K;
            e2= -4*z0*l1;
            e3= (-2*T*l1)+K;
            %////////
            teta1=(2*atand((-e2-sqrt((e2).^2-(4*e1*e3)))/(2*e1)));

            %.....TETA2.....
            a = 120; %angulo a rotar
            T = [cosd(a) -sind(a) 0 0;...
                sind(a) cosd(a) 0 0;...
                0 0 1 0;...
                0 0 0 1];

```

Con estas ecuaciones establecidas procedemos a la generación de un algoritmo en MATLAB el cual facilita el cálculo del área de trabajo:

```

        puvw = T*pxyz.>'; %nuevas cordenadas
        x0 = puvw(1);
        y0 = puvw(2);
        z0 = puvw(3);

        l2_prima = sqrt(((l2).^2)-
((x0).^2));
        T=OA+y0-GD;
        K= ((l2_prima).^2)-((x0).^2)-
((T.^2))-((l1).^2)-((z0).^2);

        %//////////
        e1= (2*T*l1)+K;
        e2= -4*z0*l1;
        e3= (-2*T*l1)+K;
        %//////////
        teta2=(2*atand((-e2-sqrt((e2).^2-
(4*e1*e3)))/(2*e1)));

        %.....TETA3.....
        a = -120; %angulo a rotar
        T = [cosd(a) -sind(a) 0 0;...
            sind(a) cosd(a) 0 0;...
            0 0 1 0;...
            0 0 0 1]; %determinamos la MTH con un roll de a
        puvw = T*pxyz.>'; %nuevas cordenadas
        x0 = puvw(1);
        y0 = puvw(2);
        z0 = puvw(3);

        l2_prima = sqrt(((l2).^2)-((x0).^2));
        T=OA+y0-GD;
        K= ((l2_prima).^2)-((x0).^2)-((T.^2))-((l1).^2)-
((z0).^2);
        %//////////
        e1= (2*T*l1)+K;
        e2= -4*z0*l1;
        e3= (-2*T*l1)+K;
        %//////////
        teta3=(2*atand((-e2-sqrt((e2).^2- (4*e1*e3)))/(2*e1)));

        if (isreal(teta1) == 1 && isreal(teta2) == 1 &&
isreal(teta3) == 1)
            i = i + 1;
            coor(i,:) = [X Y Z];
        end
    end
end
end
end

```

7.2.3. Análisis Dinámico

El objetivo del análisis dinámico es el de estimar las cargas máximas y las velocidades que los actuadores requieren realizar. Para este análisis se requiere simular la tarea más demandante que el robot pueda realizar, en este caso es el transporte de una masa 1kg desde la banda transportadora del MPS hacia un almacenamiento.

El análisis dinámico de un robot delta ha sido sujeto a múltiples estudios en las últimas décadas ya que encontrar una solución dinámica que sea lo suficientemente cercana a la realidad del sistema del robot es muy complicado, esto se debe principalmente a la dificultad analítica presentada por las interdependencias de las variables de las uniones. Muchos autores llegan a la conclusión que un modelo completo en el que se tome en cuenta las masas y las inercias de todas las uniones conduce a una solución complicada (Wisama & Ouarda, 2007; Shen, Huiping, Li, Deng & Wu, 2021).

Por lo tanto, para simplificar el entendimiento del análisis dinámico se realiza una hipótesis simplificada del modelo dinámico del robot delta (Codourey, 1998).

7.2.3.1. Parámetros Geométricos iniciales

Se manejan los mismos parámetros geométricos ya vistos en la cinemática inversa en donde se tiene que debido a su triple simetría cada brazo se le puede tratar de manera distinta como se explicó en el punto 7.2.1. Para esto se tiene que cada brazo está rotado 120 grados el uno del otro y que la matriz de rotación es:

$${}^iRR = [\cos\lambda_i \quad -\sin\lambda_i \quad 0 \quad \sin\lambda_i \quad \cos\lambda_i \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1]$$

Donde λ tomará los valores de la rotación de 120 grados.

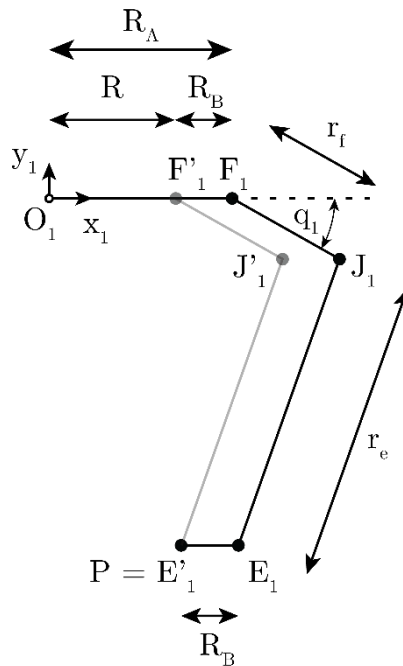


Fig. 15. Parámetros Geométricos del Robot Delta (Autores)

7.2.3.2. Matriz Jacobiana

Para la matriz jacobiana del robot delta se toma el método de Guglielmetti que considera un conjunto de ecuaciones de restricción que agrupa las variables del espacio operacional con las variables del espacio de unión. Con esto tenemos que nuestra jacobiana es:

$$J = -[S_1^T \ S_2^T \ S_3^T][S_1^T b_1 \ 0 \ 0 \ 0 \ S_2^T \ 0 \ 0 \ 0 \ S_3^T b_3]$$

$$b_i = iRR[r_f \sin\theta_i \ 0 \ r_f \cos\theta_i] \quad i = 1,2,3.$$

Para S_i tenemos que es el vector $J_i' E_i'$ de la figura 15, con esto tenemos que:

$$S_i = [x_n \ y_n \ z_n] - iRR([R \ 0 \ 0] + [r_f \cos\theta_i \ 0 \ -r_f \sin\theta_i]) \quad i = 1,2,3.$$

Donde los valores de x_n, y_n, z_n representan la posición del efector final.

7.2.3.3. Hipótesis simplificada

En este robot la complejidad se radica por el movimiento de los antebrazos, se puede simplificar el problema si se elige el no tomar en cuenta las inercias de la rotación. Por lo tanto, se tiene que la fuerza entre la plataforma del efector final y el brazo en una dirección está dada por la orientación del antebrazo. Para la simplificación del modelo se toma el principio de Newton-Euler con las siguientes simplificaciones:

- Las inercias de rotación de los antebrazos son despreciadas.
- Para motivos analíticos las masas de los antebrazos son separados de una manera optimizada en 2 porciones y colocadas en sus 2 extremidades, siendo estos 2/3(codos) de su extremidad superior y 1/3 de su extremidad inferior (plataforma del efector final). Esto se justifica fácilmente con el hecho que la inercia de una vara rígida de longitud L y su masa m en uno de sus extremos está dada por $I = \frac{1}{3}mL^2$. Esto es equivalente a colocar 1/3 de la masa en el extremo móvil.
- Efectos de fricción y elasticidad son despreciados.

7.2.3.4. Parámetros Dinámicos

Para el completo análisis dinámico se tiene que establecer los parámetros dinámicos del modelo del robot delta.

- En la plataforma del efector final solo la masa total es usada, por lo tanto:

$$m_{nt} = m_n + m_{cargautil} + 3(1 - r)m_{ab}$$

Se tiene que:

$$m_n = \text{suma de las masas de la plataforma del efector final}$$

$$m_{cargautil} = 1 \text{ kg carga propuesta}$$

$$m_{ab} = \text{masa del antebrazo}$$

$$r = 2/3$$

Como se explicó con anterioridad para una óptima distribución de la masa la r tiene el valor de $2/3$.

- Para el brazo su posición del centro de la masa se calcula con:

$$r_{Gb} = L_A \frac{\frac{1}{2}m_{br} + m_c + rm_{ab}}{m_b}$$

$$m_b = m_{br} + m_c + rm_{ab}$$

Se tiene que:

$$m_{br} = \text{masa del brazo}$$

$$m_c = \text{masa del codo}$$

$$m_{ab} = \text{masa del antebrazo}$$

$$r_f = \text{longitud del bicep}$$

- La inercia del brazo I_{bi} es la suma de la inercia del motor I_m y la del brazo I_{br} y está dada por:

$$I_{bi} = I_m + I_{br}$$

Donde:

$$I_{br} = r_f^2 \left(\frac{m_{br}}{3} + m_c + rm_{ab} \right)$$

7.2.3.5. Modelo dinámico basado en el Principio Virtual de Trabajo

El uso del jacobiano J nos conduce a un modelo simplificado del robot delta, en donde el robot se reduce a 4 cuerpos que son la plataforma del efector final y los 3 Bíceps.

Se tiene 2 fuerzas que actúan en la plataforma del efector final la gravedad G_n y la fuerza de inercia F_n . Estas 2 fuerzas se calculan con:

$$G_n = m_{nt}[0 \ 0 \ -g]^T$$

$$F_n = m_{nt}\ddot{X}_n$$

De acuerdo con el principio virtual de trabajo la contribución de todas las fuerzas no inerciales debe ser igual a la contribución de todas las fuerzas inerciales. Este concepto aplicado a las uniones tenemos el torque que se debe aplicar a los motores:

$$\Gamma = I_b\ddot{\theta} + J^T m_{nt}\ddot{X}_n - J^T G_n - \Gamma_{Gb}$$

Primero tenemos que I_b es la matriz de la inercia de las uniones de los brazos y está dada por:

$$I_b = [I_{b1} \ 0 \ 0 \ 0 \ I_{b2} \ 0 \ 0 \ 0 \ I_{b3}]$$

También se tiene que Γ_{Gb} es el torque gravitacional que se calcula con:

$$\Gamma_{Gb} = m_b r_{Gb} g [\cos\theta_1 \ \cos\theta_2 \ \cos\theta_2]$$

Y para \ddot{X}_n que es la aceleración tenemos:

$$\ddot{X}_n = J\ddot{\theta} + \dot{J}\dot{\theta}$$

Establecidas las ecuaciones se procede a realizar un algoritmo en MATLAB ya que al ser una cuantiosa cantidad de estas un cálculo a mano es de gran dificultad. Por lo tanto, se tiene el siguiente algoritmo:

```

syms Xn Yn Zn...      %Punto final del efector
    LA LB R ...      %Caracteristicas geometricas del robot
    q1 q2 q3 ...     %Posicion de los actuadores
    Im ...           %Inercia del motor
    mbr mc mab...    %Masas de los componentes
    mn mpl...        %Masas del plato y payload
    X_n Y_n Z_n...   %Velocidades del efector
    q_1 q_2 q_3...   %Velocidades de los actuadores
    q__1 q__2 q__3...%Aceleraciones de los actuadores
    g                %Gravedad

mb = mbr + mc + (2/3)*(mab)

RR1 = [cos(0) -sin(0) 0;...
       sin(0) cos(0) 0;...
       0 0 1];

RR2 = [cos(2.0944) -sin(2.0944) 0;...
       sin(2.0944) cos(2.0944) 0;...
       0 0 1];

RR3 = [cos(4.1888) -sin(4.1888) 0;...
       sin(4.1888) cos(4.1888) 0;...
       0 0 1];

S1 = [Xn Yn Zn].-' - RR1*([R 0 0].'+[LA*cos(q1) 0 -
LA*sin(q1)].)');

S2 = [Xn Yn Zn].-' - RR2*([R 0 0].'+[LA*cos(q2) 0 -
LA*sin(q2)].)');

S3 = [Xn Yn Zn].-' - RR3*([R 0 0].'+[LA*cos(q3) 0 -
LA*sin(q3)].)');

x = [S1.'; S2.'; S3.'];

Ibr = LA.^2*(mbr)/(3)+mc+(2/3)*mab);

[Ib1 Ib2 Ib3] = deal(Im + Ibr);

```

```

S_1 = [X_n Y_n Z_n].'+ RR1*([R 0 0].'+[LA*sin(q1) 0 -
LA*cos(q1)].')*q_1; %Es s1 puntito

S_2 = [X_n Y_n Z_n].'+ RR2*([R 0 0].'+[LA*sin(q2) 0 -
LA*cos(q2)].')*q_2;

S_3 = [X_n Y_n Z_n].'+ RR3*([R 0 0].'+[LA*sin(q3) 0 -
LA*cos(q3)].')*q_3;

b1 = RR1 * [LA*sin(q1); 0; LA*cos(q1)];
b2 = RR2 * [LA*sin(q2); 0; LA*cos(q2)];
b3 = RR3 * [LA*sin(q3); 0; LA*cos(q3)];

J = -inv(x)*[S1.'*b1 0 0; 0 S2.'*b2 0; 0 0 S3.'*b3];

b_1 = RR1 * [LA*sin(q1); 0; LA*cos(q1)]*q_1;
b_2 = RR2 * [LA*sin(q2); 0; LA*cos(q2)]*q_2;
b_3 = RR3 * [LA*sin(q3); 0; LA*cos(q3)]*q_3;

K = [transpose(S_1)*b1+transpose(S1)*b_1 0 0; 0
transpose(S_2)*b2+transpose(S2)*b_2 0; 0 0
transpose(S_3)*b3+transpose(S3)*b_3]

J_ = [S_1.'; S_2.'; S_3.']*J+K

Gn = mnt * [0 0 -g].'

rGb = (LA)*((1/2)*(mbr)+mc+(2/3)*(mab))/mb

```

7.2.3.6. Simulación por Simscape

El valor de inercia del motor es una variable requerida para el empleo del algoritmo planteado en el punto anterior, ya que no se tiene definido este actuador no se cuenta con esta variable, esto se debe a que se desconoce el torque requerido que los motores requieren para poder realizar el trabajo, estos torques se calculan con la dinámica, al tener este inconveniente se optó realizar una simulación en la herramienta SIMSCAPE para obtener los valores del torque.

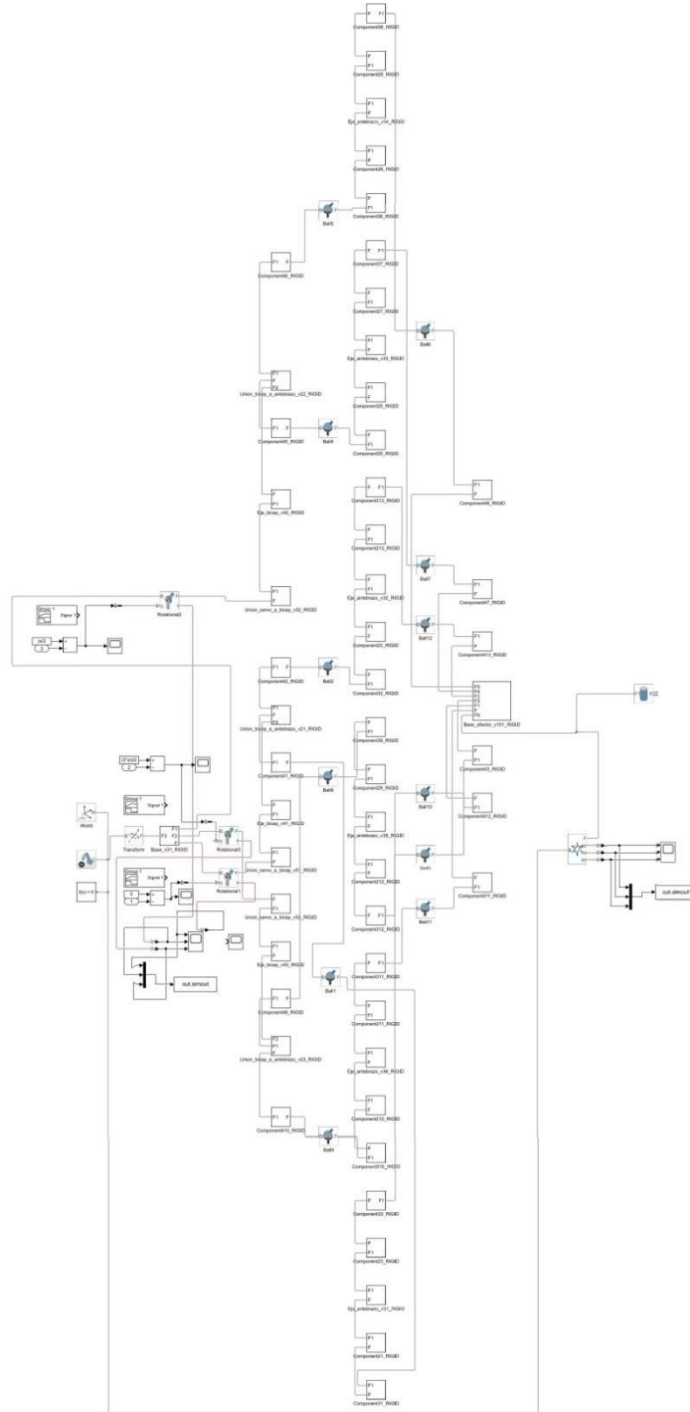


Fig. 16. Esquemático del robot de Simscape (Autores)

Con el esquema de SIMSCAPE se procede a enviar una señal de posición a los actuadores:

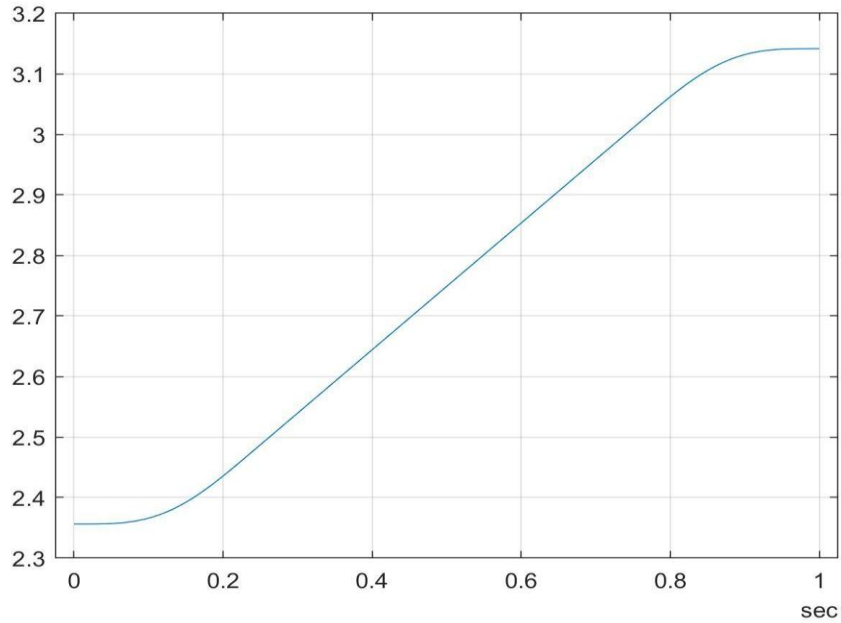


Fig. 17. Señal de posición (Autores)

Esta señal es un polinomio que garantiza un jerk continuo generando trayectorias de velocidad y posición con evoluciones suaves lo que asegurará la integridad del motor y la estructura del robot, esta señal tiene una amplitud de 90 grados que hará que el extremo alejado de los bíceps descienda partiendo del plano XY. Ocasionando que el efector se mueva en línea recta hacia abajo, también se tiene la carga que el robot va a levantar que es de 1 kg:

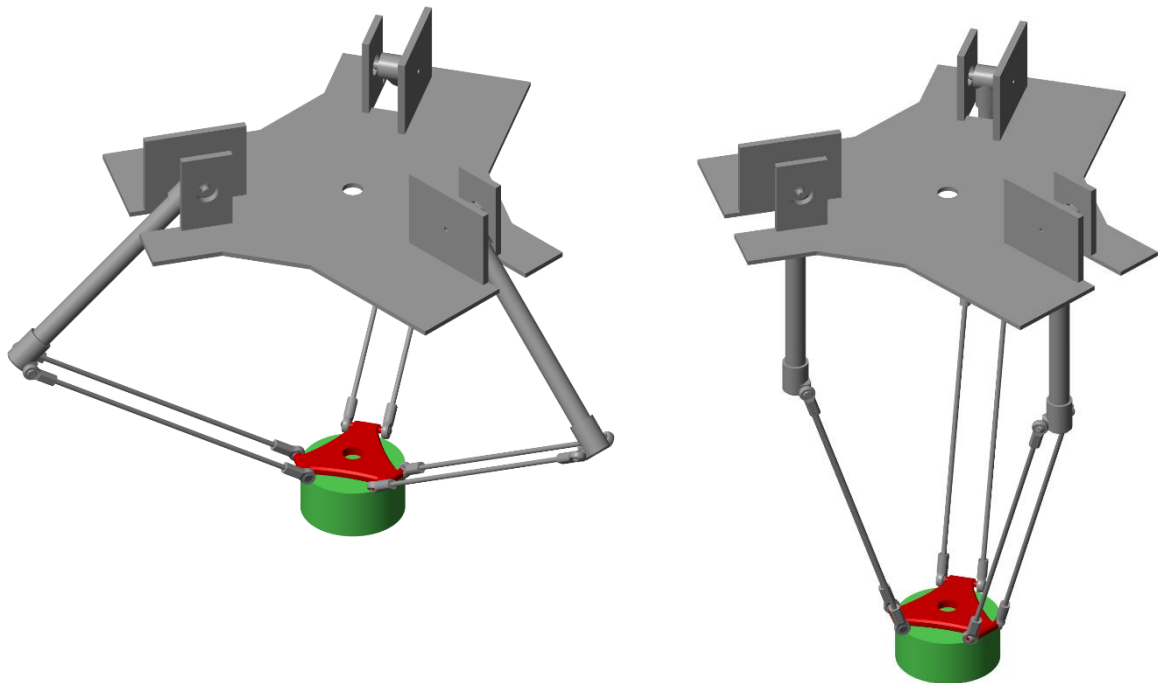


Fig. 18. Accionamiento del Efector final (Derecha) Inicio de la simulación, (Izquierda) Posición final de la simulación (Autores)

7.2.4. Control del robot

Por conveniencia y un óptimo y didáctico manejo de los motores del robot se optó por usar el control ya propuesto por la empresa DYNAMIXEL que es la encargada de producir en masa los motores, siendo este un controlador de tipo PID de posición. En la figura 19 se tiene un diagrama de bloques que describe este control PID. (Dynamixel, 2021)

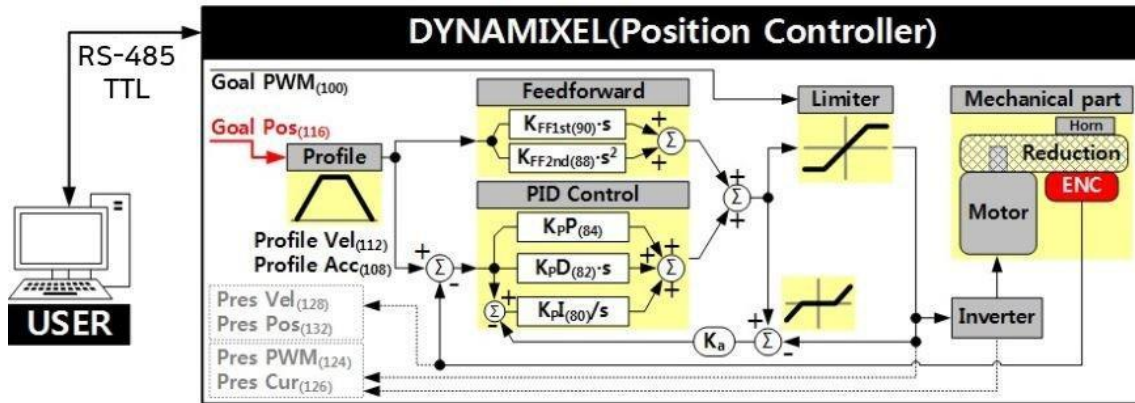


Fig. 19. Control de posición PID (DYNAMIXEL 2021)

Cuando la instrucción del usuario es recibida por el controlador DYNAMIXEL este realiza los siguientes pasos hasta accionar el actuador del servo.

- La instrucción del usuario es transmitida por el bus DYNAMIXEL que luego se almacena en la variable *Goal Position*.
- La variable *Goal Position* se convierte a la trayectoria de posición y trayectoria de velocidad deseada por las variables *Profile velocity* y *Profile Acceleration*.
- La posición y la velocidad deseada son almacenados en la variable *Position Trajectory* y *Velocity Trajectory* respectivamente.
- El control PID y el control Feedforward calculan el valor del PWM para el motor basado en la trayectoria deseada.
- La variable *Goal PWM* establece un límite en el PWM calculado y se establece el valor final del PWM.
- El valor final del PWM se aplica al motor a través de un inversor y el actuador es accionado.
- Los resultados se almacenan en las variables *Present Position*, *Present Velocity*, *Present PWM* y *Present Current*.

Para las ganancias del controlador PID y del Feedforward de los motores se recomienda usar los siguientes valores presentados en la tabla 5 teniendo en cuenta que el valor de la ganancia K_a es la ganancia Anti-Windup que no se puede modificar por los usuarios:

Tabla 5. Tabla de Ganancias

NOMBRE	GANANCIA DEL CONTROLADOR	RANGO	DESCRIPCIÓN
Ganancia de posición D	$K_p D$	0-16383	Ganancia D
Ganancia de posición I	$K_p I$	0-16383	Ganancia I
Ganancia de posición P	$K_p P$	0-16383	Ganancia P
Segunda ganancia Feedforward	K_{FF2nd}	0-16383	Ganancia de aceleración Feedforward
Primera ganancia Feedforward	K_{FF1nd}	0-16383	Ganancia de velocidad Feedforward

Fuente: Dynamixel

Para las variables iniciales que deben ser introducidas por el usuario se tienen la tabla 6 donde se menciona que es cada una de estas, para el valor del rango la propia compañía específica sólo los valores digitales que se le puede indicar al microcontrolador del servomotor:

Tabla 6. Tabla de Variables

VARIABLE	UNIDAD	RANGO
Goal Position	Grados	0-4095
Profile Velocity	rev/min	0-32767
Profile Acceleration	rev/min^2	0-32767

Fuente: Dynamixel

Las demás variables mencionadas son utilizadas solo para almacenar valores y realizar los cálculos respectivos en el algoritmo de control.

7.2.5. Cálculo de pernos

Después de tener el diseño mecánico se procede al cálculo de los pernos que tienen la función de sujetar nuestro robot en los perfiles. Como el diseño se propuso primero el tamaño del perno ya fue designado de antemano con lo que los siguientes cálculos serán basados en este tamaño impuesto con el objetivo de si son capaces de soportar la carga. El perno elegido es M6 – 1 x 80.

Como primer paso se obtiene la precarga que los pernos van a ejercer. Una precarga es la fuerza con la que los pernos va a sujetar las partes (Budynas, 2021).

$$F_i = \{0.75f_p \text{ (1)} \quad 0.90f_p \text{ (2)}\}$$

(1) Para uniones no permanentes

(2) Para uniones permanentes

$$F_i = \text{Precarga}$$

$$f_p = A_t S_p$$

Los valores de A_t que es el área de esfuerzo de tensión y S_p que es la resistencia de prueba mínima se obtienen de la tabla 8-1 y de la tabla 8-11 (Budynas & Nisbeth, 2011, p.394, p.416)

Como segundo paso obtenemos el largo necesario del perno:

$$L = l + H$$

$$L = \text{Longitud del perno}$$

$$l = \text{Espesor de todo el material apretado}$$

$$H = \text{Espesor de la tuerca}$$

El espesor de la tuerca H se obtiene de la tabla A-31 (Budynas & Nisbeth, 2011, Apéndice A) Con el largo obtenido obtenemos ahora los puntos más importantes que son los factores de seguridad y de carga:

$$(\text{Factor de seguridad})n_p = \frac{S_p A_t}{CP + F_i}$$

Donde P es la carga y C que es la constante de rigidez se calcula con:

$$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$$

Para el módulo de elasticidad se obtiene de la tabla A-5 (Budynas & Nisbeth, 2011, Apéndice A) y la rigidez del sujetador K_b se encuentra con la ecuación:

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d}$$

$$(\text{Área sin sin rosca}) A_d = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$(\text{Longitud sin sin rosca en el agarre}) l_d = L - L_t$$

$$E = \text{Módulo de elasticidad}$$

La longitud roscada L_t se calcula con:

$$L_t = \{2d + 6mm \text{ (1)} \quad 2d + 12mm \text{ (2)} \quad 2d + 25mm \text{ (3)}\}$$

$$(1) L \leq 125mm, d \leq 48mm$$

$$(2) 125mm < L \leq 200mm$$

$$(3) L > 200mm$$

Para la longitud de la parte roscada en el agarre l_t :

$$l_t = l - l_d$$

K_m que es el factor de distribución de carga se calcula con:

$$K_m = \frac{0.5774\pi Ed}{2 \ln \ln \left(5 \frac{0.5774l + 0.5d}{0.5774l + 2.5d} \right)}$$

Y por último el factor de carga n_L :

$$n_L = \frac{S_p A_t - F_i}{CP}$$

7.3. Verificar el diseño de un robot delta para el sistema de producción modular de la Universidad Politécnica Salesiana con el fin de generar procesos paralelos complementando la funcionalidad del sistema.

Para la verificación se plantea confirmar si el área de trabajo que se impuso en el punto 7.1.4.1 es posible. Para esto se utilizan las ecuaciones planteadas en el punto 7.2.2 que es el análisis de la cinemática inversa, con estas ecuaciones se procede a programar un algoritmo en el software matemático MATLAB mostrado en la sección 7.2.2.1 que nos entrega una gráfica con el área de trabajo. Con el área de trabajo asegurado se procede a realizar un análisis mecánico en el software ANSYS y en Fusión 360.

7.3.1. Obtención del espacio de trabajo en MATLAB

Se presentan los resultados obtenidos en el algoritmo recalando que el código programado no toma en cuenta las limitaciones mecánicas que presentan las juntas esféricas, estas limitaciones mecánicas en condiciones reales disminuyen el área de trabajo que el robot tendrá.

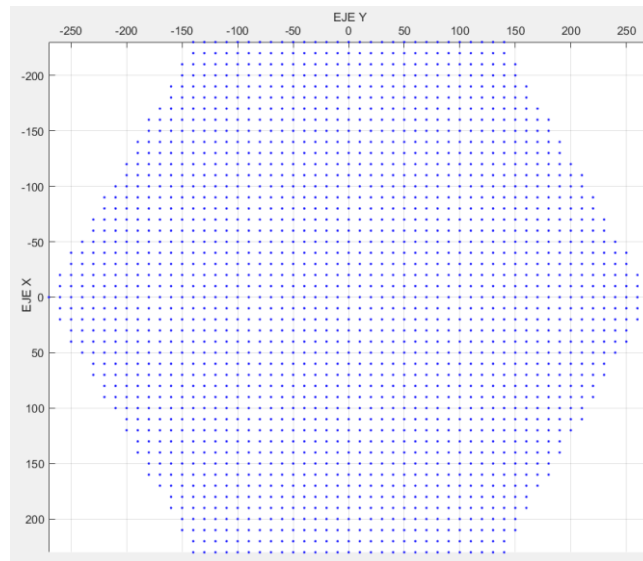


Fig. 20. Área de trabajo obtenida en el eje x, y (Autores)

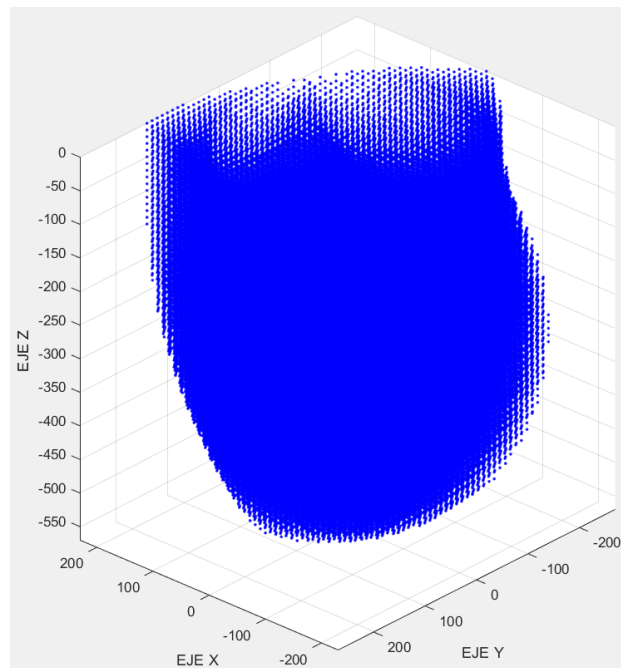


Fig. 21. Área de trabajo obtenida en el eje x, y, z (Autores)

Como podemos observar en la figura 20 y 21 con el algoritmo generado en Matlab se obtienen las gráficas que permiten determinar las distancias en donde nuestro efector final puede trabajar.

7.3.2. Análisis de esfuerzos mediante el software ANSYS

Como continuación para verificar el diseño se procedió a la simulación del análisis estructural estático del robot en el software ANSYS. Primero tenemos la simulación como se muestra en la figura 22 el cual se basa en analizar los esfuerzos en todos los componentes del robot al trasladar el peso de 1kg propuesto. El efector final se coloca esa posición para evaluar en un ambiente donde se generen los mayores esfuerzos posibles.

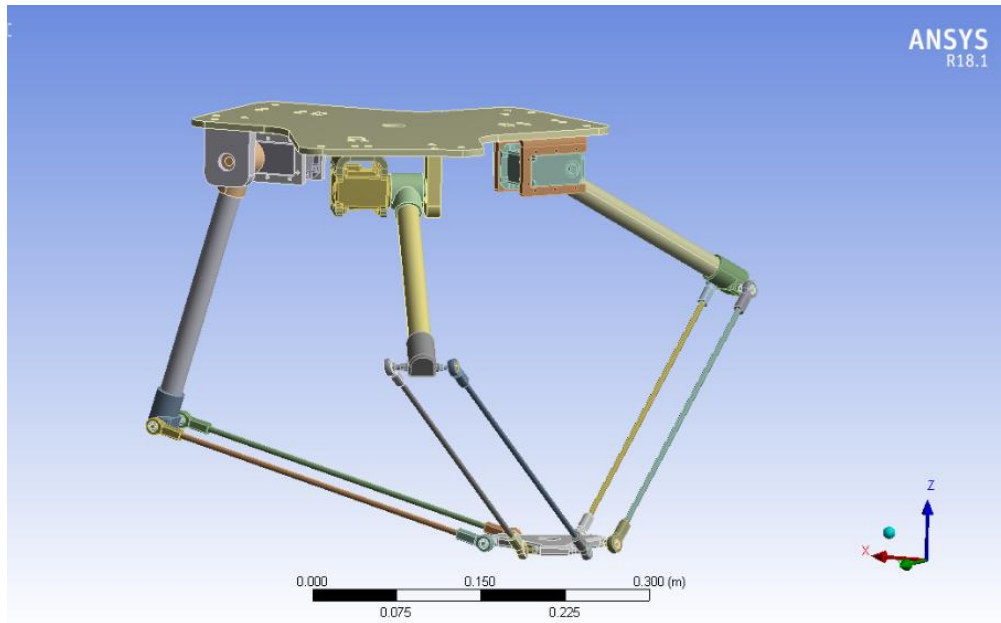


Fig. 22. Robot delta simulado en ANSYS (Autores)

Con estas características se obtiene las siguientes gráficas y análisis:

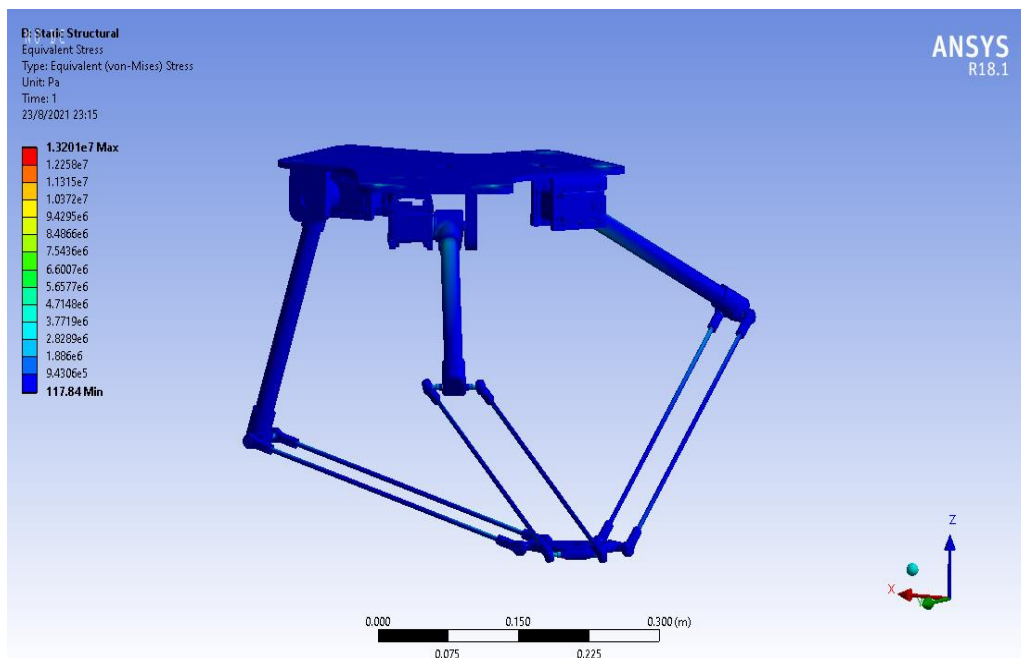


Fig. 23. Esfuerzo equivalente (Autores)

Como podemos observar en la figura 24 se tiene que el máximo esfuerzo se genera en el Bicep, pero es un esfuerzo despreciable.

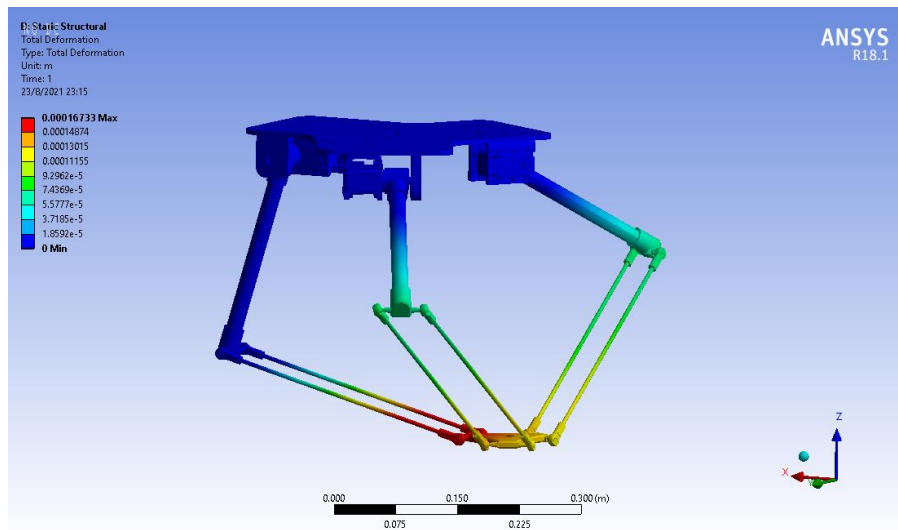


Fig. 24. Deformación total (Autores)

Para la gráfica 25 se observa que la deformación máxima se concentra en las uniones esféricas del efector final, pero el valor es pequeño por lo que no genera deformaciones significativas. Para el siguiente análisis se realiza en la sujeción del soporte del robot al Módulo donde se plantea este colocado el robot en el laboratorio, en esta sección se configura el peso que tiene el robot 6 kg para simular como este peso afectará en el módulo de sujeción y todas las piezas involucradas:

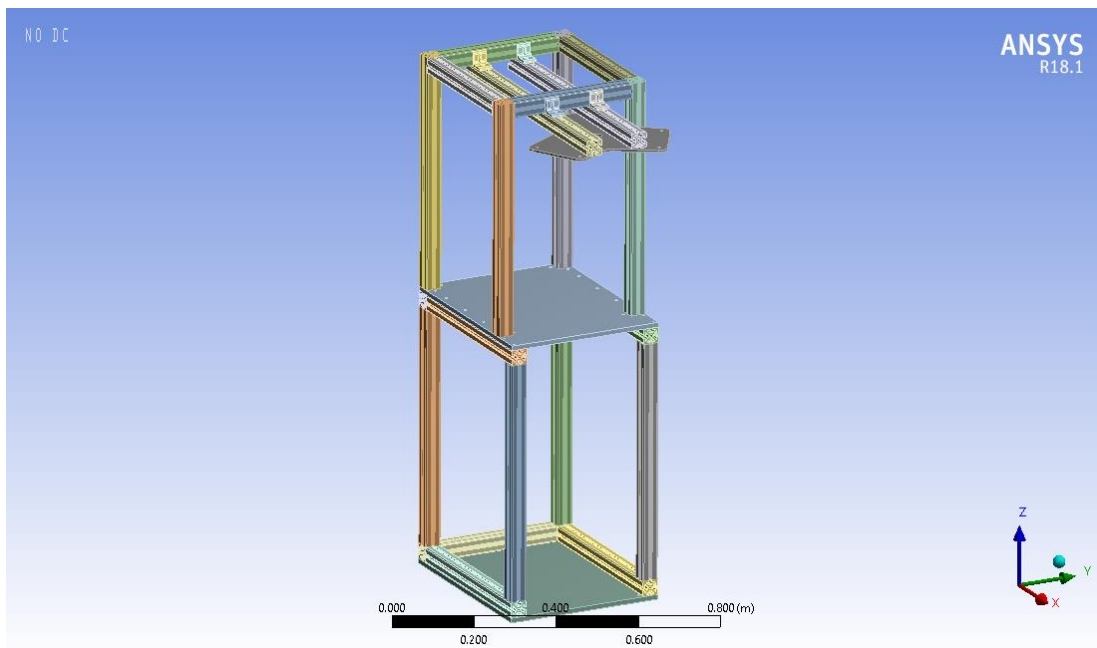


Fig. 25. Módulo de sujeción simulado en ANSYS (Autores)

De esta nueva simulación se obtienen las siguientes gráficas y análisis:

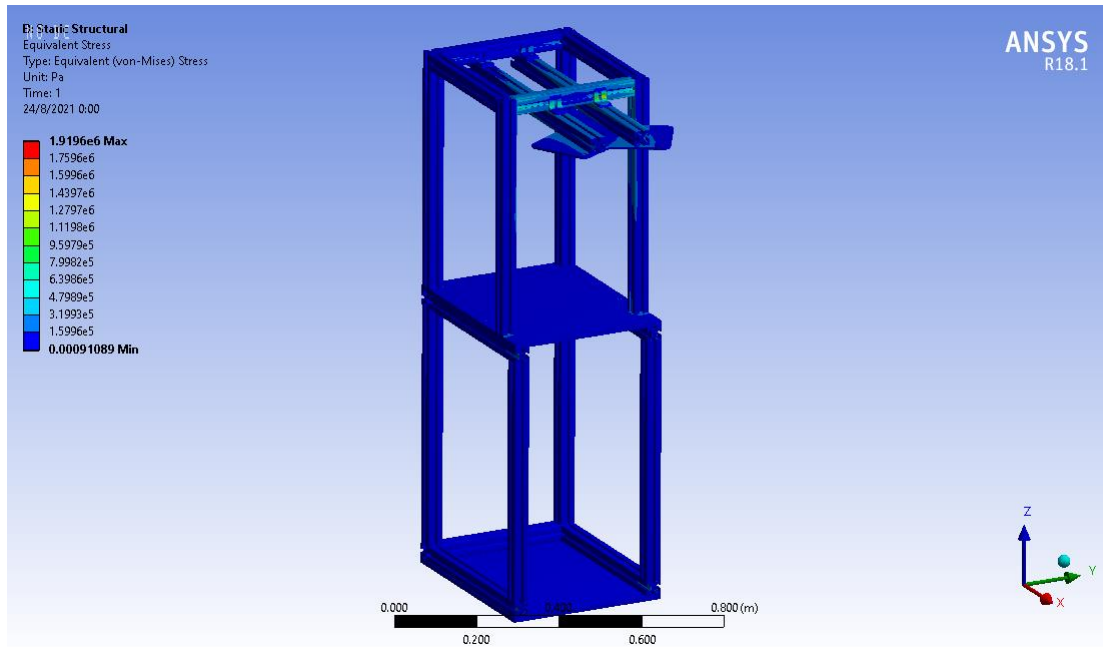


Fig. 26. Esfuerzo equivalente en el módulo de sujeción (Autores)

En la figura 26 mostramos a detalle donde se encuentran la mayor concentración de esfuerzos que es en las escuadras para las esquinas:

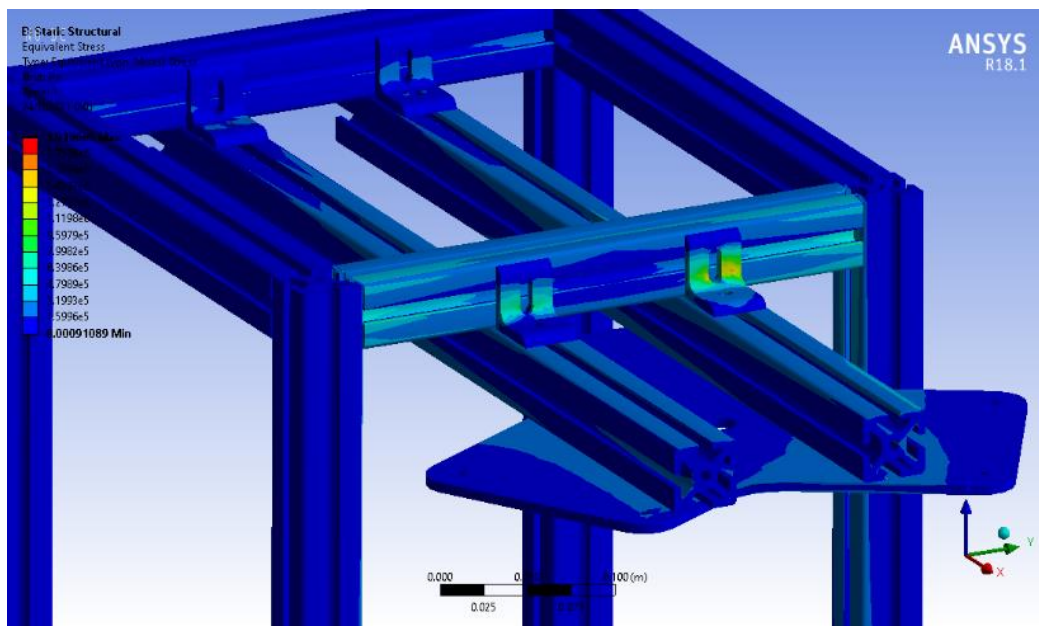


Fig. 27. Esfuerzo equivalente en las escuadras (Autores)

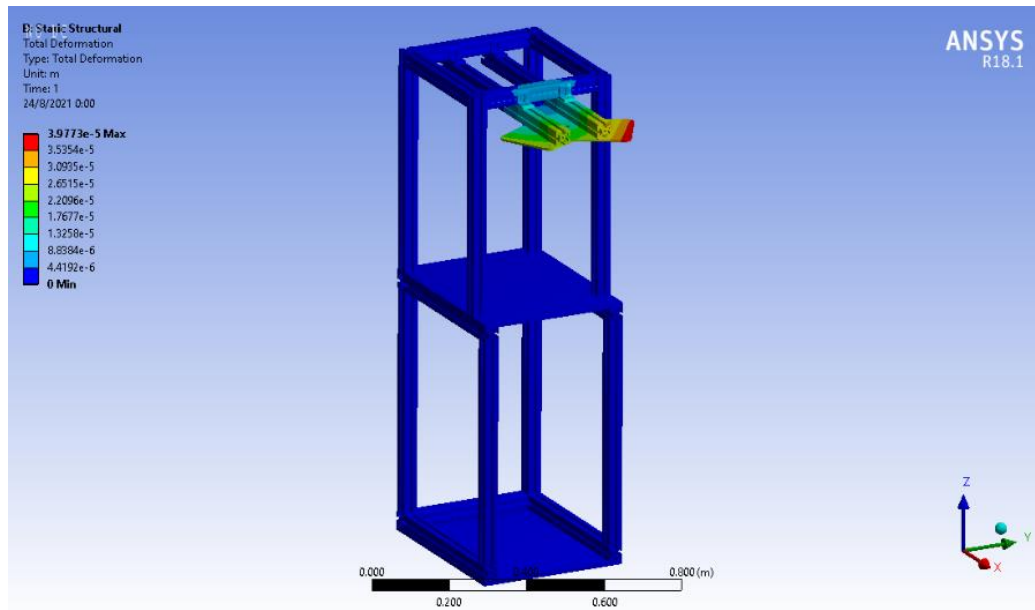


Fig. 28. Deformación total en el módulo de la sujeción (Autores)

En la figura 29 se muestra la deformación máxima en el módulo al ser aplicado el peso del robot la cual es despreciable.

7.3.3. Simulación del desplazamiento del efector final en Fusion 360

Usando el software Fusion 360, en el cual se diseñó el robot, se procede a verificar que el efector alcanza las posiciones en las que va a realizar su actividad, que sería posiciones en la banda transportadora y en la bandeja de almacenamiento del robot, cabe recalcar que este software toma en cuenta las restricciones de las juntas esféricas, mismas que no son tomadas en cuenta en el algoritmo de la cinemática inversa de MATLAB.

Se tiene la figura 29 en donde se observa el efector final ubicado en la bandeja de almacenamiento:

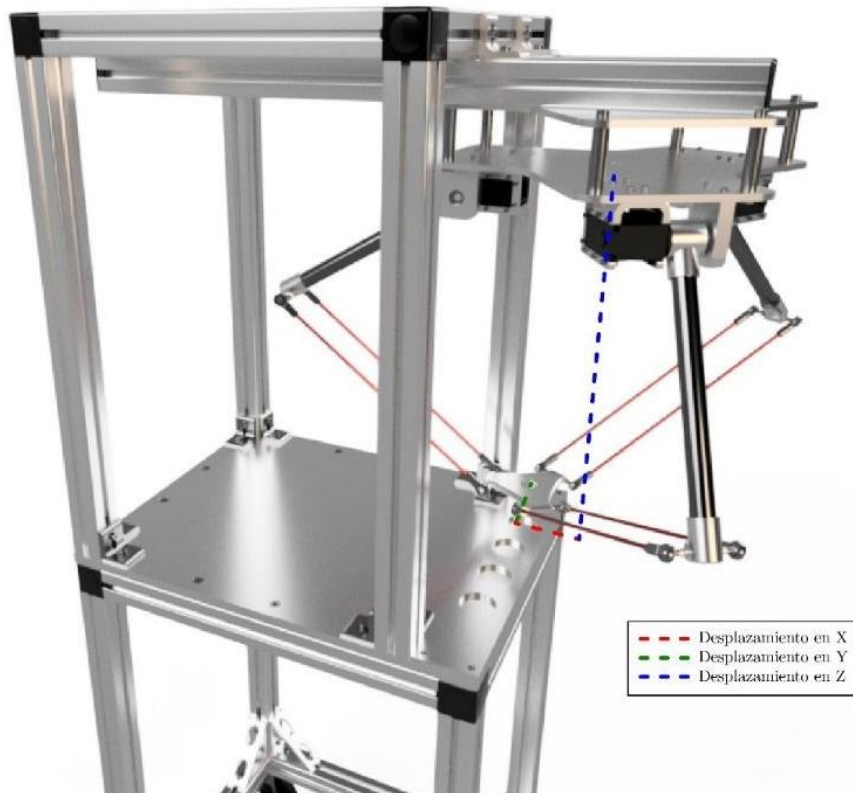


Fig. 29. Efector final ubicado en la bandeja de almacenamiento (Autores)

En la imagen 30 tenemos al efector final ubicado en la posición donde estará la cinta de transporte del MPS 500.

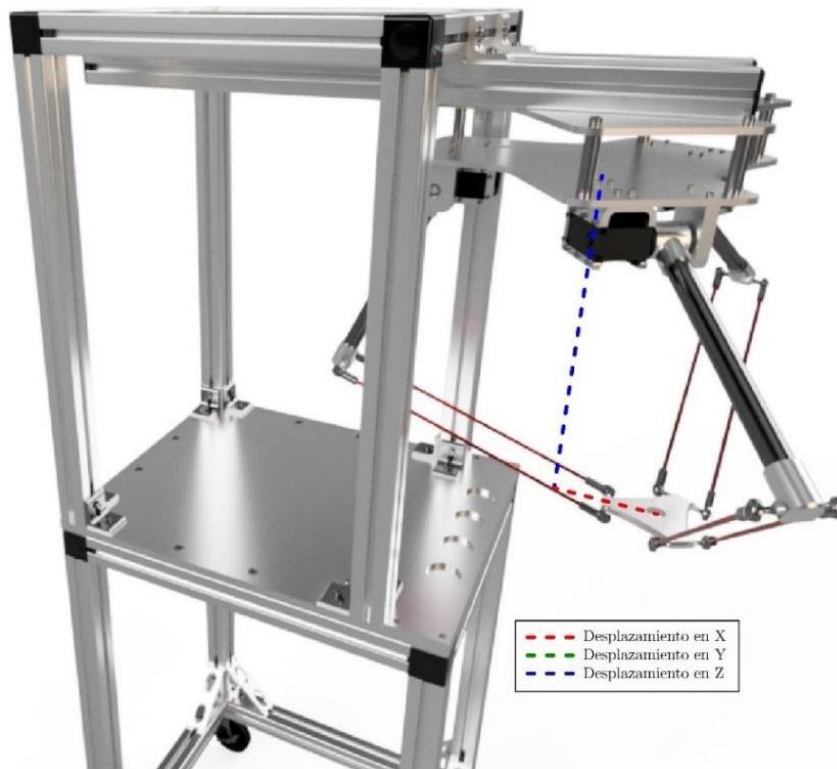


Fig. 30. Efector final ubicado en la posición de la banda transportadora (Autores)

8. Resultados

Como parte final se presentan todos los resultados obtenidos de los objetivos planteados para este proyecto de titulación y los modelos mecánicos los cuales fueron diseñados en el software Fusión 360.

8.1. Resultados de la identificación de los parámetros iniciales

En las siguientes secciones se muestran los resultados que se obtuvieron para los parámetros iniciales del diseño.

8.1.1. Soporte para el robot

Con las mediciones realizadas en el laboratorio MPS 500 obtenemos las siguientes tablas que nos ayudan a generar el diseño del robot delta. Como primer resultado obtenemos las dimensiones para el soporte en donde el robot delta va a estar sujeto, como se ve en la figura 6 elegimos el espacio ubicado entre el escritorio y el torno CNC y para la altura tomamos las medidas de la altura de la banda transportadora, tenemos:

Tabla 7: Medidas para el soporte del robot

ANCHO	35x50 cm
ALTURA	78 cm

Fuente: Autores

Con estas medidas se procedió al diseño del soporte y se obtuvo el siguiente modelo mostrado en la figura 31.

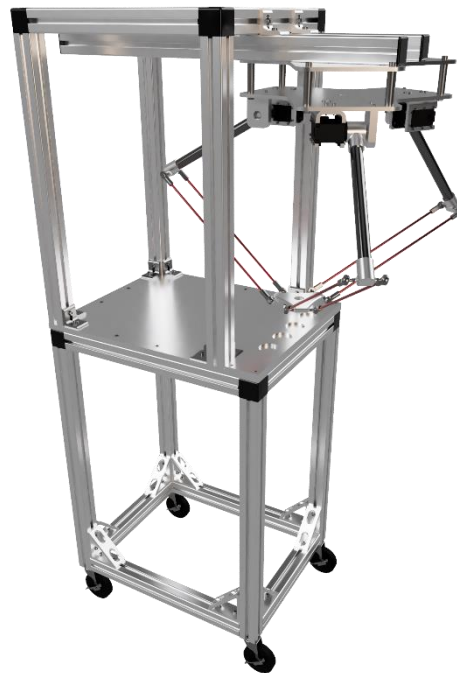


Fig. 31. Módulo Final del Robot Delta (Autores)

Como se explicó se obtuvo un cilindro que será el área de trabajo:










Fig. 32. Área de Trabajo Propuesto (Autores)

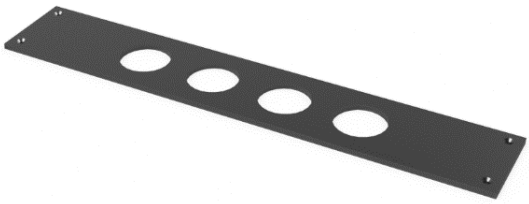

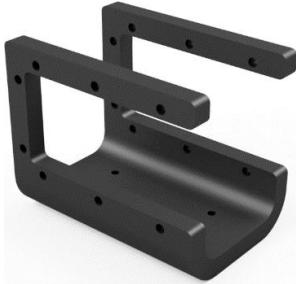
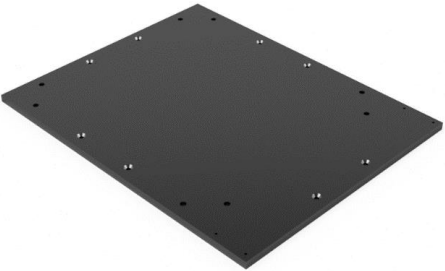

8.1.2. Componentes

Basándonos en el bosquejo planteado inicialmente y teniendo en cuenta la mesa para el soporte se procede a listar los componentes mecánicos que componen el robot delta:

Tabla 8. Tabla de Componentes




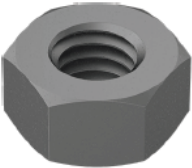
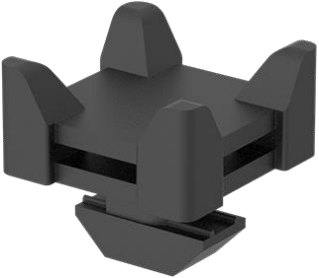
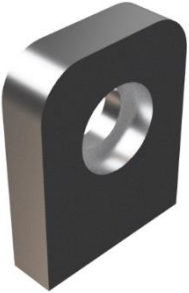
NOMBRE	COMPONENTE	MATERIAL
Plataforma Superior		Aluminio 6082
Plataforma del Efecto Final		Aluminio 6082





Bicep		Aluminio 6082
Antebrazo		Aluminio 6082
Junta Esférica		Acero al carbon galvanizado
Unión de Servo a Bicep		Aluminio 6082
Unión de Bicep a Antebrazo		Aluminio 6082

<p>Bandeja de Almacenamiento</p>		<p>Aluminio 6082</p>
<p>Plataforma de Sujeción</p>		<p>Aluminio 6082</p>
<p>Soporte de Servos</p>		<p>Aluminio 6082</p>
<p>Mesa Superior</p>		<p>Aluminio 6082</p>
<p>Perfil de Aluminio</p>		<p>Aluminio anodizado</p>

<p>Soporte Ranurado</p>		<p>Aluminio anodizado</p>
<p>Soporte de Escudete</p>		<p>Aluminio anodizado</p>
<p>Soporte de Esquina de 3 vías</p>		<p>Aluminio Barnizado</p>
<p>Rueda</p>		<p>Acero galvanizado, plástico de polipropileno</p>

<p>Separador M6 con longitud de 50 mm</p>		<p>Aluminio</p>
<p>Rodamiento 6661K12</p>		<p>Acero</p>
<p>Tuerca Ranurada T M6 x 1 mm</p>		<p>Acero galvanizado</p>
<p>Perno Hexagonal M6 x 1 mm con longitud de 16 mm</p>		<p>Aleación de acero ennegrecido</p>
<p>Perno Hexagonal M6 x 1 mm con longitud de 30 mm</p>		<p>Acero galvanizado</p>

<p>Tornillos M4 x 0.7 mm con longitud de 10 mm</p>		<p>Acero inoxidable 3-6</p>
<p>Perno Avellanado 90° M6 x 1 mm con longitud de 22 mm</p>		<p>Aleación de acero ennegrecido</p>
<p>Perno Hexagonal M6 x 0.50 mm con longitud de 55 mm</p>		<p>Acero inoxidable 18-8</p>
<p>Tuerca M6 x 1 mm</p>		<p>Acero</p>
<p>Sujetador de Cables</p>		<p>Plástico</p>
<p>Soporte del Rodamiento</p>		<p>Aluminio 6082</p>

Tapa para los Perfiles		Fibra de vidrio
Servomotores		
Fuente		
Driver IL- ARBOTIXM		

Fuente: Autores

8.2. Resultados de la Propuesta del diseño de un robot delta

En este punto se muestran los resultados obtenidos de los métodos que se emplearon para la propuesta del robot delta.

8.2.1. Resultados del análisis cinemático

En el punto 7.2.2.1 se presentó el código obtenido a base de las ecuaciones de la cinemática inversa del robot delta, con esta ecuación se obtiene las gráficas presentadas en el punto 7.3.1 y con estas gráficas se obtiene los siguientes resultados:

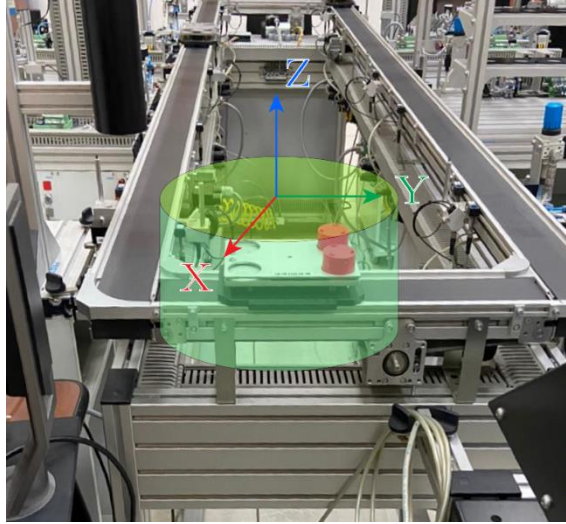


Fig. 33. Área de trabajo propuesto con ejes coordenados (Autores)

En la figura 33 se muestra un cilindro de con radio de 46 cm con una altura de 30 cm el cual representaría el espacio de trabajo obtenido mediante los algoritmos.

8.2.2. Resultados del análisis dinámico

Con la simulación realizada en Simscape se obtienen los parámetros que servirán para la selección del motor a ser empleado:

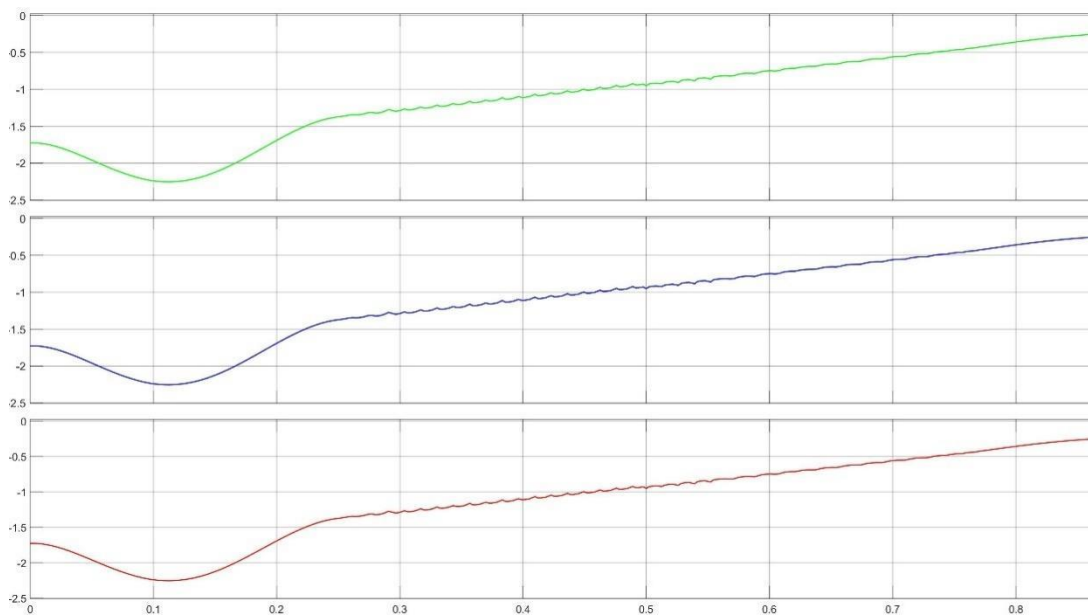


Fig. 34 Gráfica de la torques obtenida de la simulación (Autores)

Como se observa en la figura 34 la herramienta de simulación entrega una gráfica en donde el eje x es el tiempo y el eje y es el torque ejercido.

Con esto se obtiene que:

Tabla 9. Torques Obtenidos

ACTUADOR	TORQUE
Actuador 1	2.25 Nm
Actuador 2	2.25 Nm
Actuador 3	2.25 Nm

Fuente: Autores

8.2.2.1. Motor seleccionado

En base a los resultados expuestos en la tabla 9 se procede a la selección del motor que será empleado para cada brazo. Este actuador es el DYNAMIXEL MX-106T, que cuenta con un torque de hasta 10 Nm y 55 rpm (DYNAMIXEL 2021).

8.2.3. Resultados del cálculo de pernos

Para poder verificar que pernos son los más eficientes para la sujeción del robot con las fórmulas presentadas en el punto 7.2.5 se procede a calcular los factores de seguridad para el perno M6 ya mencionado que es el que se parte el diseño inicial y con el perno M3 para realizar una comparación entre los 2.

Se tienen los factores para el perno M3:

Tabla 10. Factores Calculados para el Perno M3

Factor de Seguridad	1.33
Factor de Carga	997.86

Fuente: Autores

Se tienen los factores de seguridad para el perno M6:

Tabla 11. Factores Calculados para el Perno M6

Factor de Seguridad	1.331
Factor de Carga	1.631×10^3

Fuente: Autores

Por cuestiones de eficiencia el perno M3 debería ser considerado ya que por cuestiones de eficiencia es capaz de cumplir con la carga impuesto, pero cuestiones de diseño este perno no puede ser usado ya que en el diseño requiere de separadores de medida M6.

8.3. Resultados de la Verificación el Diseño

Presentamos los resultados obtenidos en base a los procedimientos que se implementaron para la verificación de nuestro diseño, como primer procedimiento se tiene la verificación del área de trabajo.

8.3.1. Verificación del Espacio de Trabajo

Para este punto se compara el espacio de trabajo propuesto con el obtenido mediante MATLAB, así como el obtenido en Fusion 360.

Tabla 12: Comparación entre el área de trabajo obtenido y el propuesto

ESPACIO DE TRABAJO PROPUESTO	ESPACIO DE TRABAJO OBTENIDO EN MATLAB	ESPACIO DE TRABAJO OBTENIDO EN FUSION 360
$\varnothing = 30 \text{ cm}$	$\varnothing = 46 \text{ cm}$	$\varnothing = 30 \text{ cm}$
$h = 20 \text{ cm}$	$h = 55 \text{ cm}$	$h = 30 \text{ cm}$

Fuente: Autores

8.3.2. Verificación de Esfuerzos y Deformaciones generados en el Robot Delta

Para el primer análisis se tiene el robot tal como se observa en la figura 22 con esto se genera tiene la tabla 13 en donde el máximo valor del esfuerzo obtenido en la simulación es menor al esfuerzo de fluencia de los materiales del cual nuestro robot está conformado lo que genera deformaciones elásticas y no afectará la integridad de los componentes, estos resultados se obtienen de la figura 23.

Tabla 13: Comparación entre esfuerzo simulado y el permitido

ESFUERZO EQUIVALENTE MÁXIMO DE LA SIMULACIÓN	FLUENCIA DEL MATERIAL (MPa)	
$1.3201e7 \text{ Pa}$	ALUMINIO 6082	110
	ACERO GALVANIZADO CON ZINC	227

Fuente. Autores

Para la deformación se tiene como resultado que la deformación máxima es de $0.00016733 m$ que es despreciable y que no afectará al funcionamiento del robot ni su repetibilidad, este resultado se observa en la gráfica 24.

Para el segundo análisis en este punto se tiene la configuración como se observa en la gráfica 25. Como podemos observar también en este caso en la tabla 14 el máximo valor del esfuerzo obtenido en la simulación es menor al esfuerzo de fluencia de los materiales del módulo de sujeción lo que generará deformaciones elásticas como en la anterior simulación y no afectará la integridad de los componentes.

Tabla 14: Comparación entre esfuerzo simulado y permitido

ESFUERZO EQUIVALENTE MÁXIMO DE LA SIMULACIÓN	FLUENCIA DEL MATERIAL	
$1.9196e6 Pa$	ALUMINIO ANODIZADO	378 MPa

Fuente. Autores

Para la deformación de este último análisis se tiene una máxima es de $3.9773 e - 5 m$ que como en el anterior caso es despreciable y que no afectará al funcionamiento del robot ni su repetibilidad, este dato se obtiene de la gráfica 28. (Fares, Hemmouche, Belouchrani, Amrouch, Chicot & Didier, 2015).

9. Conclusiones

- Se ha logrado establecer los parámetros iniciales que permiten incorporar al robot delta, como un módulo dentro del entorno del sistema de producción modular MPS-500, lo que ha permitido dimensionar de manera correcta tanto el módulo que contendrá el robot, así como el robot y sus características, garantizando su funcionamiento conjunto, generando procesos paralelos.
- Por medio del análisis cinemático del robot y su implementación como un algoritmo en MATLAB se ha aproximado un espacio de trabajo el cual puede ser representado como un cilindro de 46 cm de diámetro y 55 cm de alto. Este espacio de trabajo se ha verificado mediante Fusion 360, donde se ha obtenido un cilindro de aproximadamente 30 cm de diámetro y 47 cm de altura, está siendo la aproximación más exacta a la que presentaría el robot. Este espacio de trabajo nos asegura que el robot será capaz de realizar las actividades dentro del área de trabajo que habíamos establecido.
- Por medio de la implementación como algoritmo en MATLAB de la dinámica del robot así como por medio de la simulación del sistema dentro de SIMSCAPE y Fusion 360 se ha computado que el torque necesario para que cada actuador logre mover el peso de cada brazo así como el peso distribuido de la carga útil es de 2.25 Nm, dato el cual se ha

tomado en cuenta para la elección de los actuadores a ser utilizados, siendo estos los Dynamixel Mx-106T, estos son servomotores con un torque de hasta 10 Nm a 55 rpm.

- Por medio del análisis de elementos finitos, utilizando el software ANSYS, se ha establecido que los esfuerzos que se presentarán en el robot, el cual se estudió en una configuración crítica y siendo sometido al peso de la carga útil en el efector final, y en el módulo en el cual se implementará el robot, siendo este sometido al peso de robot así como la carga útil, es de 13.2 MPa y 1.91 MPa correspondientemente, esfuerzos los cuales se encuentran por debajo de la fluencia de los materiales seleccionados para la construcción tanto del robot así como del módulo. Similarmente se realizó un estudio de deformación en el robot y en el módulo, sometidos a los esfuerzos antes mencionados, donde los resultados de este estudio son de 0.00016733 m y 0.000039 m respectivamente, los cuales se han considerado despreciables y no afectan ni a la precisión ni a la repetibilidad del robot.
- El factor de seguridad nos indica si el perno puede soportar de manera segura la carga que se impuso para los 2 pernos planteados dio como resultado que son capaces de hacerlo ya que según el libro de Shigley este factor debe ser ligeramente mayor a la unidad. Siguiendo también el libro de Machinerys Handbook se tiene que el factor de carga de 1.3 calculado es ideal para elementos en los cuales la carga aplicada y el ambiente en el que se encuentran los pernos expuestos no son severos. Se sabe que el factor de carga, dependiendo del perno, se reduce de manera considerable, esto se debe a la naturaleza del significado del factor de carga, este factor está relacionado al factor de seguridad, se diferencia con que es un factor que se aplica a la carga y se asegura que la fatiga del perno se mantenga de bajo de la fatiga permisible. Se puede interpretar como cuantas cargas impuestas en este caso de 9.81 N puede el perno soportar. El perno M6 puede soportar una cantidad mayor al perno M3, pero como se mencionó en los resultados por cuestiones de diseño el perno M3 es el utilizado para el diseño.

10. Recomendaciones

A raíz de nuestro proyecto se propone las siguientes recomendaciones:

- Estudiar los diferentes tipos de efectores finales que pueden ser utilizados en el robot para ultimar el funcionamiento del robot.
- Substituir los actuadores por servos de corriente alterna que ofrecerán un mayor torque y velocidades.
- Implementar sistemas de visión por computadora con los cuales se pueda manipular el robot con el fin de interactuar con los componentes del MPS.
- Diseñar e implementar diferentes estrategias de control.
- Desarrollar un generador de trayectoria capaz de realizar diferentes tipos de interpolaciones asegurando el movimiento del efector final a lo largo de estas.

11. Referencias Bibliográficas

- Coopersmith, J. (2017). *The lazy universe: An introduction to the principle of least action*. Oxford University Press
- Oberg, Jones, Horton, & Ryffel. (2004). *Machinery Handbook* (27th ed.). Industrial Press.
- Matsubara, D., Wakashima, Y., Shimizu, H. et al. The load factor in bolted timber joints under external tensile loads. *J Wood Sci* 66, 9 (2020). <https://doi.org/10.1186/s10086-020-01857-4>
- Fares, Chahinez & Hemmouche, Larbi & Belouchrani, Mohamed & Abdelwaheb, Amrouche & Puchi-Cabr, E.S. & Chicot, Didier & Puchi-Cabrera, E.S.. (2015). Coupled effects of substrate microstructure and sulphuric acid anodizing on fatigue life of a 2017A aluminum alloy. *Materials and Design*. 86. 723-734.
- Tuercas Hexagonales DIN 934. (s. f.). NORELEM. https://www.norelem.com/xs_db/DOKUMENT_DB/www/NORELEM/DataSheet/es/07/07210_Datasheet_4099_Tuercas_hexagonales_DIN_934_DIN_EN_ISO_4032_DIN_EN_24032--es.pdf
- Beer, F. P., Johnston, Jr, E. R., & Mazurek, D. F. (2021). *Mecánica De Materiales* (6.a ed.). MCGRAW HILL EDDUCATION.
- Sung, S. W., Lee, J., & Lee, I. (2009). *Process identification and pid control*. ProQuest Ebook Central <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2708>
- Wang, L. (2020). *Pid Control System Design and Automatic Tuning Using Matlab/Simulink*. Wiley-IEEE Press.
- Wills, B. A., & Finch, J. A. (2016). Sampling, control, and mass balancing. In *Wills' Mineral Processing Technology* (pp. 41–90). Elsevier.
- Hippe, P. (2006). *Windup in control: Its effects and their prevention* (2006th ed.). Springer.
- Wypych, G. (2012). *Atlas of Material Damage*. Chem Tec Publishing.
- Dynamixel. (2021). *Position PID Gain, Feedforward 1st/2nd Gains*. ROBOTS e-Manual. <https://emanual.robotis.com/docs/en/dxl/mx/mx-106-2/#position-pid-gain80-82-84-feedforward-1st2nd-gains88-90>
- Fundamentos de robótica. (1997). McGrawHill/Interamericana.
- Moritz, F. G. (2014). *Electromechanical motion systems: Design and simulation*. ProQuest Ebook Central <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2708>
- Giovanni, L., & Fassi, I. (Eds.). (2012). *Robotics: State of the art and future trends: state of the art and future trends*. ProQuest Ebook Central <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2708>
- Tsai, L. (1999). *Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators* (1.a ed.). Wiley-Interscience.
- Codourey, A. (1998). Dynamic Modeling of Parallel Robots for Computed-Torque Control Implementation. *The International Journal of Robotics Research*, 17(12), 1325–1336. <https://doi.org/10.1177/027836499801701205>

Angeles, J. (1997): *Fundamentals of Robotic Mechanical Systems: Theory, Methods & Algorithms*, Springer, ISBN 0-387-94540-7, pp.8-11.

Pierrot, F., Fournier, A. & Dauchez, P. (1991): "Towards a Fully-Parallel Six DOF Robot for High-Speed Applications", *Proc. IEEE Rob. & Autom. Conf.*, Sacramento, ISBN 0-8186-2163-X, pp.1288-1293.

Herve, J.-M. & Sparacino, F. (1992): "Star, a New Concept in Robotics", *Proc. ARK Wkshp.*, Ferrara, (Parenti-Castelli, V. & Lenarcic, J. eds.), ISBN 88-86141-00-9, pp.176-183.

Shen, Huiping & Meng, Qingmei & Li, Ju & Deng, Jiaming & Wu, Guanglei. (2021). Kinematic sensitivity, parameter identification and calibration of a non-fully symmetric parallel Delta robot. *Mechanism and Machine Theory*. 161. 104311. 10.1016/j.mechmachtheory.2021.104311.

Wisama Khalil, Ouarda Ibrahim. *General Solution for the Dynamic Modeling of Parallel Robots*. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Springer Verlag, 2007, 49, pp. 19-37. fihal-00401684f

FESTO, *Automatización industrial Sistemas de aprendizaje para la formación técnica*

H. Taghirad. *Parallel Robots Mechanics and Control*, 2013

R. Clavel. *Dispositivo para el movimiento y posicionamiento de un elemento en el espacio* 2007

Codourey, A., Clavel, R., & Burckhardt, C. W. (1991). Control algorithm and controller for the direct drive delta robot. *IFAC Proceedings Volumes*, 24(9), 543–549.

DYNAMIXEL. (2021). Motor DYNAMIXEL MX-106T. Robotis eMANUAL. <https://manual.robotis.com/docs/en/dxl/mx/mx-106/#>

T-Slotted Framing. (2015). McMaster-Carr. <https://www.mcmaster.com/3136N172/>

316 Stainless Steel Phillips Flat Head Screws. (2015). McMASTERCARR. <https://www.mcmaster.com/91292A314/>

Alloy Steel Low-Profile Socket Head Screw. (2015). McMASTERCARR. <https://www.mcmaster.com/93070A147/>

Alloy Steel Low-Profile Socket Head Screws. (s. f.). McMASTERCARR. Recuperado 15 de septiembre de 2021, de <https://www.mcmaster.com/90327A141/>

Aluminum Unthreaded Spacer. (s. f.). McMASTERCARR. Recuperado 15 de septiembre de 2021, de <https://www.mcmaster.com/94669A127/>

Ball Bearing. (s. f.). McMASTERCARR. Recuperado 15 de septiembre de 2021, de <https://www.mcmaster.com/6661K12/>

Ball Joint Linkage. (s. f.). McMASTERCARR. Recuperado 15 de septiembre de 2021, de <https://www.mcmaster.com/60645K471/>

Black-Oxide Alloy Steel Hex Drive Flat Head Screw. (s. f.). McMASTERCARR. Recuperado 15 de septiembre de 2021, de <https://www.mcmaster.com/91294A241/>

Metric Medium-Strength Steel Hex Nuts—Class 8. (s. f.). McMASTER-CARR. Recuperado 15 de septiembre de 2021, de <https://www.mcmaster.com/catalog/127/3442>

Tie Cable Holder for 40 mm High Single Rail T-Slotted Framing. (s. f.). McMASTER-CARR. Recuperado 15 de septiembre de 2021, de <https://www.mcmaster.com/47065T219/>

T-Slotted Framing. (s. f.). McMASTER-CARR. Recuperado 15 de septiembre de 2021, de <https://www.mcmaster.com/5537T291/>

T-Slotted Framing. (s. f.-b). McMASTER-CARR. Recuperado 15 de septiembre de 2021, de <https://www.mcmaster.com/5537T761/>

T-Slotted Framing. (s. f.-c). McMASTER-CARR. Recuperado 15 de septiembre de 2021, de <https://www.mcmaster.com/5537T66/>

Silver Slotted Bracket for 1.5" High Rail, 1.5" Long. (s. f.). McMASTER-CARR. Recuperado 15 de septiembre de 2021, de <https://www.mcmaster.com/3136N172/>

Single Four Slot Rail, Silver, 20 mm Square, Solid. (s. f.). McMASTER-CARR. Recuperado 15 de septiembre de 2021, de <https://www.mcmaster.com/5537T101/>

Stem Mount Swivel Caster for 30 and 40 mm High Single Rail. (s. f.). McMASTER-CARR. <https://www.mcmaster.com/5537T317/>

12. Anexos

Anexo 1: 316 Stainless Steel Phillips Flat Head Screws

26/9/2021

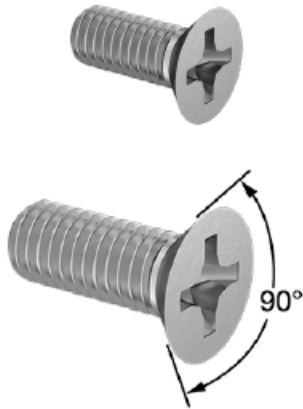
316 Stainless Steel Phillips Flat Head Screws, M4 x 0.7 mm Thread, 10 mm Long | McMaster-Carr

McMASTER-CARR.

316 Stainless Steel Phillips Flat Head Screws

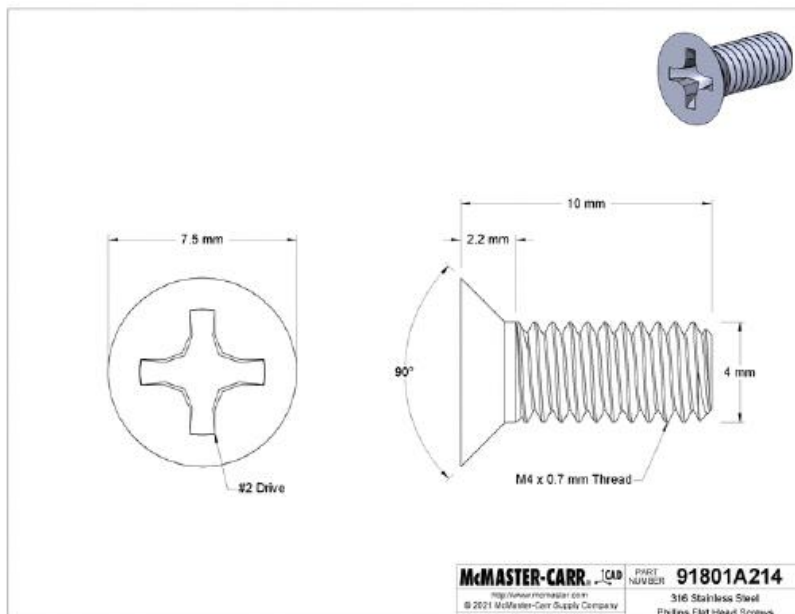
M4 x 0.7 mm Thread, 10 mm Long

\$7.45 per pack of 50
91801A214



Thread Size	M4
Thread Pitch	0.7 mm
Length	10 mm
Threading	Fully Threaded
Head Diameter	7.5 mm
Head Height	2.2 mm
Countersink Angle	90°
Drive Style	Phillips
Drive Size	No. 2
Material	316 Stainless Steel
Finish	Passivated
Hardness	Rockwell B80
Tensile Strength	70,000 psi
Thread Type	Metric
Thread Spacing	Coarse
Thread Fit	Class 6g
Thread Direction	Right Hand
Head Type	Flat
Flat Head Profile	Standard
System of Measurement	Metric
Specifications Met	DIN 965
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (01/18/2020, 205 SVHC) Compliant
DFARS	Not Specialty Metals Compliant
Country of Origin	India, Italy, Peoples Republic Of China, Taiwan, Thailand, or United Kingdom
Schedule B	731815.9000
ECCN	EAR99

More corrosion resistant than 18-8 stainless steel screws, these screws have excellent resistance to chemicals and salt water. They're passivated for added protection against oxidation and corrosion. Screws are angled under the head to sit flush within countersunk holes. They may be mildly magnetic. Length is measured from the top of the head.



McMASTER-CARR. ICAD PART NUMBER **91801A214**
http://www.mcmaster-carr.com
 © 2021 McMaster-Carr Supply Company
 Information in this drawing is provided for reference only.
 316 Stainless Steel
 Phillips Flat Head Screws

Anexo 2: Alloy Steel Low-Profile Socket Head Screw

26/8/2021

Alloy Steel Low-Profile Socket Head Screw, Hex Drive, Black Oxide, M6 x 1 mm Thread, 16 mm Long | McMaster-Carr

McMASTER-CARR.

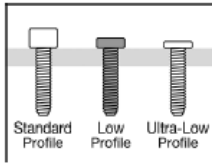
Alloy Steel Low-Profile Socket Head Screw

Hex Drive, Black Oxide, M6 x 1 mm Thread, 16 mm Long

\$12.50 per pack of 50
93070A145



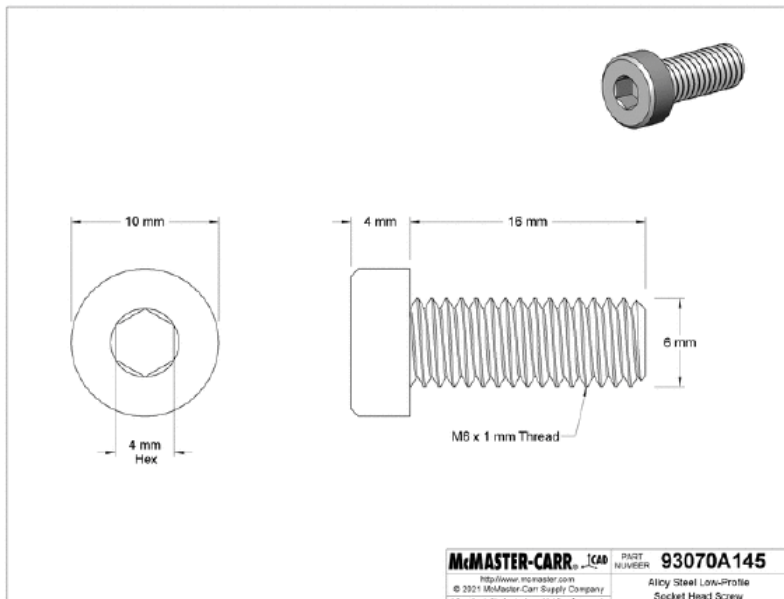
Hex



Thread Size	M6
Thread Pitch	1 mm
Length	16mm
Threading	Fully Threaded
Thread Spacing	Coarse
Head	
Diameter	10mm
Height	4mm
Drive Size	4 mm
Material	Black-Oxide Alloy Steel
Hardness	Rockwell C20
Tensile Strength	110,000 psi
Thread Type	Metric
Thread Fit	Class 6g
Thread Direction	Right Hand
Head Type	Socket
Socket Head Profile	Low
Drive Style	Hex
Specifications Met	DIN 7984
System of Measurement	Metric
Fastener Strength	Class 8.8
Grade/Class	
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (06/25/2020, 209 SVHC) Compliant
DFARS	Not Specialty Metals Compliant
Country of Origin	Peoples Republic Of China, Taiwan, or Vietnam
Schedule B	731815.9000
ECCN	EAR99

Made of alloy steel, these low-profile screws are nearly twice as strong as their stainless steel counterparts. With half the height of a standard socket head, these low-profile screws fit in tight spaces, but are weaker than standard socket heads. Length is measured from under the head.

Black-oxide steel screws are mildly corrosion resistant in dry environments. Class 8.8 steel screws are medium-strength, so they're strong enough for use with most machinery and equipment. Coarse threads are the industry standard; choose these screws if you don't know the pitch or threads per inch. DIN screws meet international standards for materials and dimensions.



Anexo 3: Alloy Steel Low-Profile Socket Head Screw

26/8/2021

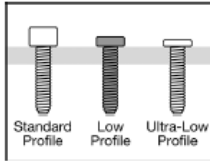
Alloy Steel Low-Profile Socket Head Screws, Hex Drive, Zinc Plated, M6 x 1 mm Thread, 30 mm Long | McMaster-Carr

McMASTER-CARR.

Alloy Steel Low-Profile Socket Head Screws

Hex Drive, Zinc Plated, M6 x 1 mm Thread, 30 mm Long

\$7.12 per pack of 25
90327A141

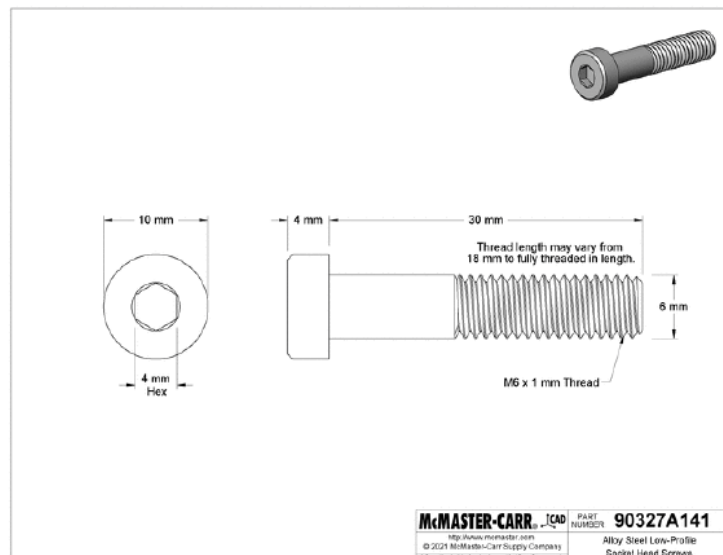


Thread Size	M6
Thread Pitch	1 mm
Length	30mm
Threading	Partially Threaded
Min. Thread Length	18mm
Thread Spacing	Coarse
Head	
Diameter	10mm
Height	4mm
Drive Size	4 mm
Material	Zinc-Plated Alloy Steel
Hardness	Rockwell C20
Tensile Strength	110,000 psi
Thread Type	Metric
Thread Fit	Class 6g
Thread Direction	Right Hand
Head Type	
Head Type	Socket
Socket Head Profile	Low
Drive Style	Hex
Specifications Met	DIN 7984
System of Measurement	Metric
Fastener Strength	Class 8.8
Grade/Class	
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (01/18/2020, 205 SVHC) Compliant
DFARS	Not Specialty Metals Compliant
Country of Origin	Varies
Schedule B	731815.9000
ECCN	EAR99

Made of alloy steel, these low-profile screws are nearly twice as strong as their stainless steel counterparts. With half the height of a standard socket head, these low-profile screws fit in tight spaces, but are weaker than standard socket heads. Length is measured from under the head.

Zinc-plated steel screws have a zinc outer layer that protects the steel under it from rust, extending the life of the screw.

Class 8.8 steel screws are medium-strength, so they're strong enough for use with most machinery and equipment. Coarse threads are the industry standard; choose these screws if you don't know the pitch or threads per inch. DIN screws meet international standards for materials and dimensions.



Anexo 4: Aluminium Unthreaded Spacer

31/8/2021

Aluminum Unthreaded Spacer, 6 mm OD, 51 mm Long, for M3 Screw Size | McMaster-Carr

McMASTER-CARR.

Aluminum Unthreaded Spacer

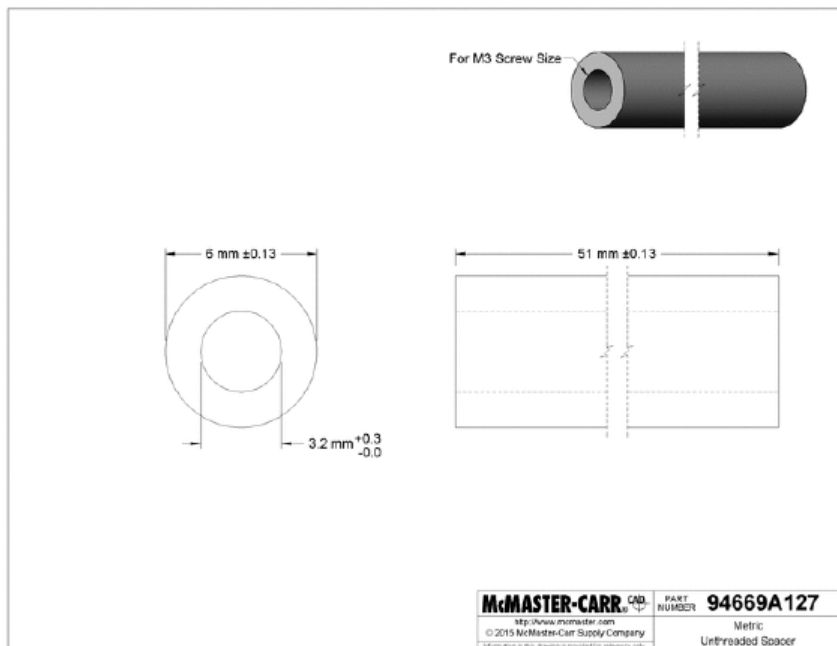
6 mm OD, 51 mm Long, for M3 Screw Size

1-9 Each \$1.74
10 or more \$1.48
94669A127



Shape	Round
Material	Aluminum
OD	6 mm
OD Tolerance	-0.13 to 0.13 mm
Length	51 mm
Length Tolerance	-0.13 to 0.13 mm
For Screw Size	M3
ID	3.200 mm
ID Tolerance	0 to 0.3 mm
Tensile Strength	45,000 psi
Hardness	Rockwell B50
System of Measurement	Metric
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	Not Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	United States
USMCA Qualifying	No
Schedule B	781810.8000
ECCN	EAR99

Made of aluminum, these spacers are lightweight, nonmagnetic, and mildly corrosion resistant. Material can vary between 6061 and 2011 aluminum.



Anexo 5: Ball Bearing

McMASTER-CARR.

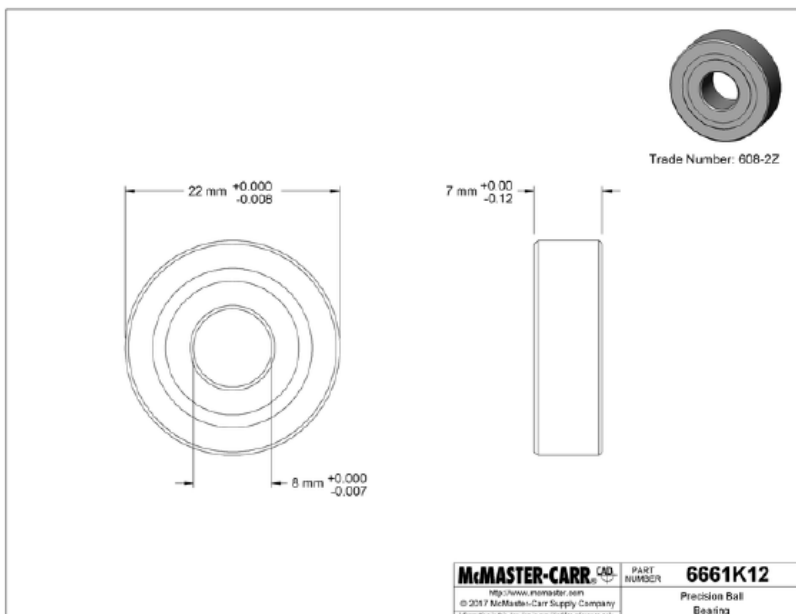
Ball Bearing

Precision, Shielded, NO. 608-2Z, for 8 mm Shaft Diameter

\$9.51 Each
6661K12



Bearing Trade Number	608-2Z
Bearing Type	Ball
For Load Direction	Radial
Construction	Single Row
Seal Type	Shielded
Inner Ring Type	Standard
Ball Bearing Type	Standard
For Shaft Type	Round
For Shaft Diameter	8 mm
ID	8 mm
ID Tolerance	-0.007 to 0 mm
For Housing ID	22 mm
OD	22 mm
OD Tolerance	-0.008 to 0 mm
Width	7 mm
Width Tolerance	-0.12 to 0 mm
Ring Material	Steel
Ball Material	Steel
Cage Material	Steel
Shield Material	Steel
Radial Load Capacity, lbs.	
Dynamic	770
Static	300
Maximum Speed	38,000 rpm
Lubrication	Lubricated
Lubricant	Grease
Shaft Mount Type	Press Fit
Temperature Range	-30° to 240° F
ABEC Rating	ABEC-3
Radial Clearance Trade No.	C3
Radial Clearance	0.008 to 0.023 mm
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	Not Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	Italy
Schedule B	848210.5044
ECCN	1C999



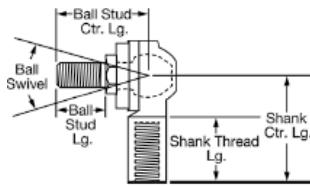
Anexo 6: Ball Joint Linkage



Ball Joint Linkage

5/8"-18 Internal Thread, Right-Hand Shank, Right-Hand Ball Stud

\$22.87 Each
60645K471



Shank	
Thread Size	5/8"-18
Center Length	2 1/2"
Thread Length	1 3/8"
Ball Stud	
Thread Size	5/8"-18
Center Length	2 1/2"
Length	1 1/2"
Maximum Ball Swivel	52°
Static Radial Load Capacity	Not Rated
Material	Zinc-Plated Carbon Steel
Ball Stud Material	Chrome-Plated Bearing Steel
Lubrication	Required
Rod End Type	Ball Joint Linkage
Shank Threading	Fully Threaded
Shank Gender	Female
Shank Thread Direction	Right Hand
Ball Stud Thread Direction	Right Hand
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (01/19/2021, 211 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	United States
USMCA Qualifying	No
Schedule B	848330.8055
ECCN	EAR99

Notes:
Zinc-Plated Steel Housing
Chrome-Plated Bearing Steel Ball Stud

McMASTER-CARR CAD	PART NUMBER 60645K471
http://www.mcmaster.com © 2021 McMaster-Carr Supply Company Information in this drawing is provided for reference only.	Right-Hand Shank Thread Right-Hand Linkage

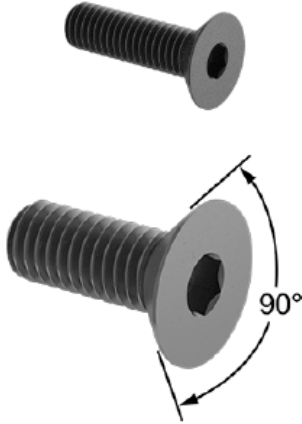
Anexo 7: Black-Oxide Alloy Steel Steel Hex Drive Flat Head Screw

McMASTER-CARR.

Black-Oxide Alloy Steel Hex Drive Flat Head Screw

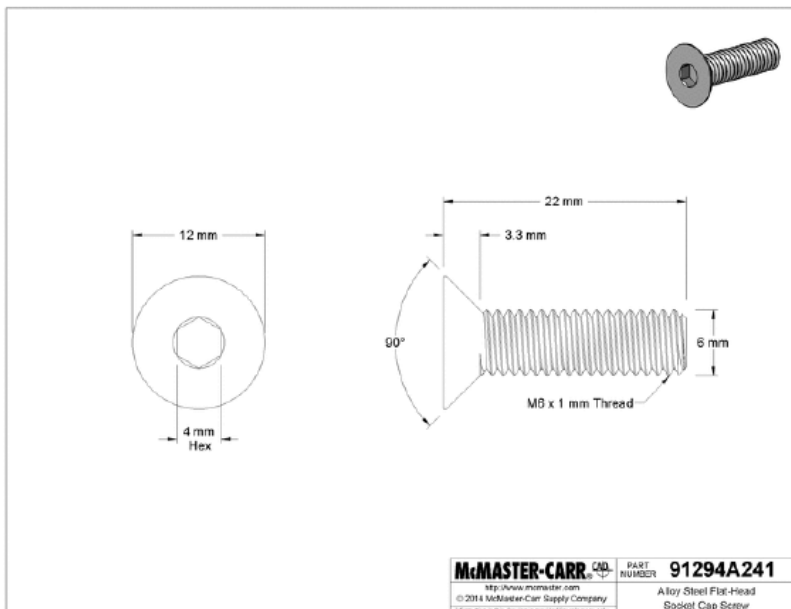
90 Degree Countersink, M6 x 1.00 mm Thread, 22 mm Long

\$11.81 per pack of 50
91294A241



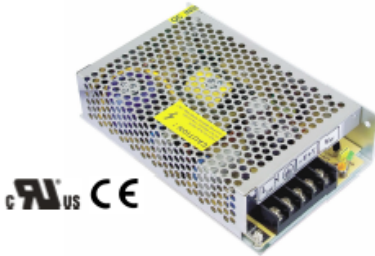
Black Oxide with 90 Degree Countersink Angle

Thread Size	M6
Thread Pitch	1 mm
Length	22 mm
Threading	Fully Threaded
Head Diameter	12 mm
Head Height	3.3 mm
Countersink Angle	90°
Drive Style	Hex
Drive Size	4 mm
Material	Black-Oxide Alloy Steel
Fastener Strength Grade/Class	Class 10.9
Hardness	Rockwell C32
Tensile Strength	120,000 psi
Thread Type	Metric
Thread Spacing	Coarse
Thread Fit	Class 6g
Thread Direction	Right Hand
Head Type	Flat
Flat Head Profile	Standard
System of Measurement	Metric
Specifications Met	DIN 7991, ISO 10642
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (06/25/2020, 209 SVHC) Compliant
DFARS	Not Specialty Metals Compliant
Country of Origin	Belgium, France, Germany, India, Indonesia, Italy, Japan, Malaysia, Peoples Republic Of China, Philippines, Poland, South Korea, Switzerland, Taiwan, Thailand, or Vietnam
Schedule B	731815.9000
ECCN	EAR99



McMASTER-CARR CAD PART NUMBER **91294A241**
<http://www.mcmaster.com>
 © 2014 McMaster-Carr Supply Company Alloy Steel Flat-Head Socket Cap Screw
Modification to this drawing prohibited for reference only.

Anexo 8: 60W Single Output Switching Power Supply



FEATURES

- Universal AC input / full range
- Japanese brand components for key parts
- Electrolytic capacitors all 105°C
- 100% full load burn-in test
- Approvals: UL, CE
- Protections: overload/ over voltage/ short circuit
- 5 years limited warranty
- F605 160 x 98 x 39mm

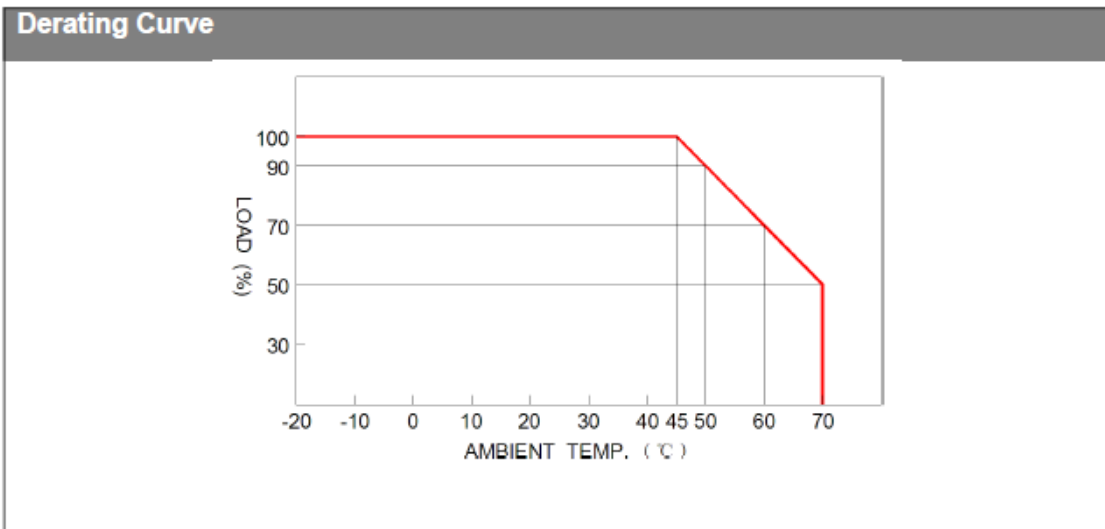
SPECIFICATIONS

Input Voltage	85~264VAC (120~370VDC)
Input Current	2.0A
Input Frequency	47~63Hz
Inrush Current	cold start, 20A/115V, 40A/230V
Input Leakage Current	< 1mA/230VAC
Line Regulation (full load)	± 0.5%
Voltage Adjust Range	± 10%
Output Overload Protection	105~150%, hiccup mode, auto recovery
Output Over Voltage Protection	115~150%, hiccup mode, auto recovery
Short Circuit Protection	hiccup mode, auto recovery
Rise Time	50ms @full load (typical)
Hold up Time	20ms @full load (typical)
Mechanical Feature	enclosed
Dimensions	160 x 98 x 39mm (L x W x H)

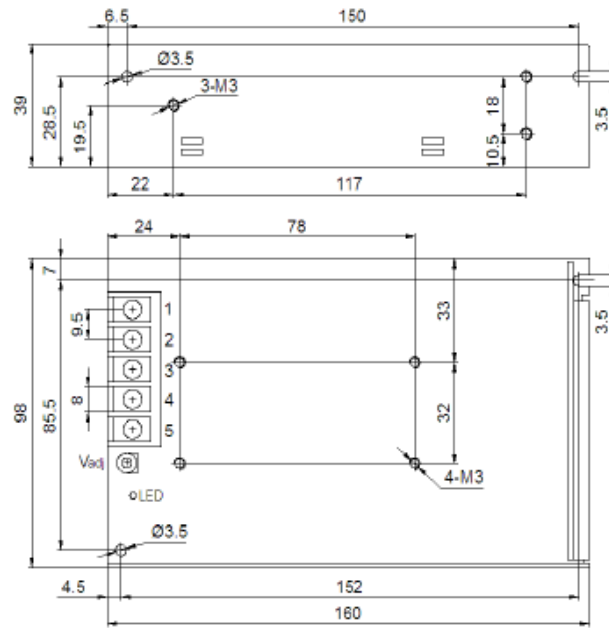
Operating Temperature	-20°C ~+70°C(ref. derating curve)
Storage Temperature	-20°C ~+85°C
Operating Humidity	20%~93%RH(non condensing)
Storage Humidity	20%~95%RH(non condensing)
MTBF	>100,000 hours
Cooling	convection
Safety Standards	GB4943, UL60950, EN60950
EMC Standards	GB9254, EN55022 Class B EN55024, EN61000-3-2,3 EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11
Withstand Voltage	I/P -O/P: 3.0KVAC/1min I/P - PE: 1.5KVAC/1min O/P-PE: 0.5KVAC/1min
Vibration	10~150Hz, 2G 10min/1cycle, 30min each along X, Y, Z axes
Connection	5P/9.5mm screw terminal block
Packing	0.46kgs, 36pcs/18.5kgs/0.045CBM per carton

Model No.	DC Output	Rated Power	Load Regulation	Voltage Tolerance	Ripple & Noise (max.)	Efficiency
PS1-60W-SL-5	5V 12A	60.0W	0.5%	± 2%	80mVp-p	78%
PS1-60W-SL-12	12V 5.0A	60.0W	0.5%	± 1%	120mVp-p	82%
PS1-60W-SL-15	15V 4.0A	60.0W	0.5%	± 1%	120mVp-p	82%
PS1-60W-SL-24	24V 2.5A	60.0W	0.5%	± 1%	150mVp-p	81%
PS1-60W-SL-48	48V 1.3A	62.4W	0.5%	± 1%	150mVp-p	82%

* 3~48VDC output all available



Drawing



Length of assembly screw: max. 6mm

Terminal Pin No. Assignment

Pin No.	Assignment	Pin No.	Assignment
1	AC/L	4	DC OUTPUT -V
2	AC/N	5	DC OUTPUT +V
3	PE		

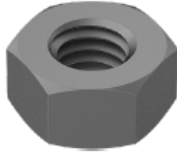
Anexo 9: Steel Hex Nut

McMASTER-CARR.

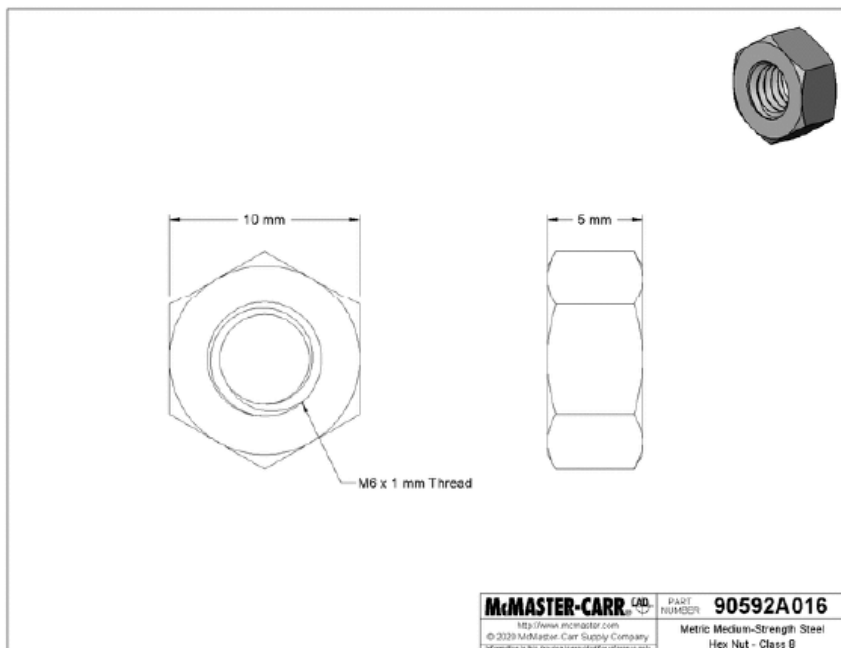
Steel Hex Nut

Medium-Strength, Class 8, M6 x 1 mm Thread

\$2.98 per pack of 100
90592A016



Material	Steel
Fastener Strength	Class 8
Grade/Class	
Thread	
Size	M6
Pitch	1 mm
Type	Metric
Spacing	Coarse
Fit	Class 6H
Direction	Right Hand
Width	10 mm
Height	5 mm
Specifications Met	DIN 934
Drive Style	External Hex
Nut Type	Hex
Hex Nut Profile	Standard
System of Measurement	Metric
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (06/25/2020, 209 SVHC) Compliant
DFARS	Not Specialty Metals Compliant
Country of Origin	Peoples Republic Of China, Taiwan, or Vietnam
Schedule B	731816.0000
ECCN	EAR99



Anexo 10: Tie Cable Holder for 40 mm High Single Rail T-Slotted Framing



Tie Cable Holder for 40 mm High Single Rail T-Slotted Framing

\$1.93 Each
47065T219



Tie

Framing Type	T-Slot
T-Slot Framing Component	Cable Holder and Duct
Cable Holder and Duct Type	Cable Holder
Cable Holder Type	Tie
For Rail Height	
Single	40mm
Double, Quad	80mm
Number of Openings	1
For Maximum Cable Tie	
Thickness	1/16"
Width	3/8"
Color	Black
Material	Plastic
System of Measurement	Metric
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (01/16/2020, 205 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	Germany
Schedule B	392690.9988
ECCN	EAR99

Route wires, cables, and tubing along T-slotted rails.

Cable tie holders accept cable ties (not included) to keep cable and tube organized. They twist into a T-slot.

Top View Dimensions: 7/8" (width), 7/8" (height), 3/8" (width of opening).

Side View Dimensions: 7/16" (total height), 1/4" (height of top flange), 1/16" (height of top flange lip), 3/16" (width of top flange), 5/16" (width of base).

McMASTER-CARR CAD
http://www.mcmaster.com
© 2015 McMaster-Carr Supply Company
Information in this drawing is provided for reference only.

PART NUMBER	47065T219
Cable Tie Holder for Aluminum T-Slotted Framing	

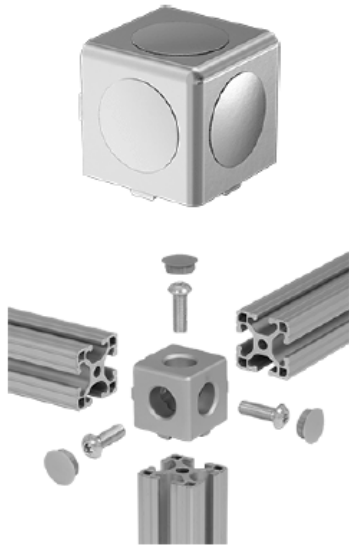
Anexo 11: T-Slotted Framing

McMASTER-CARR.

T-Slotted Framing

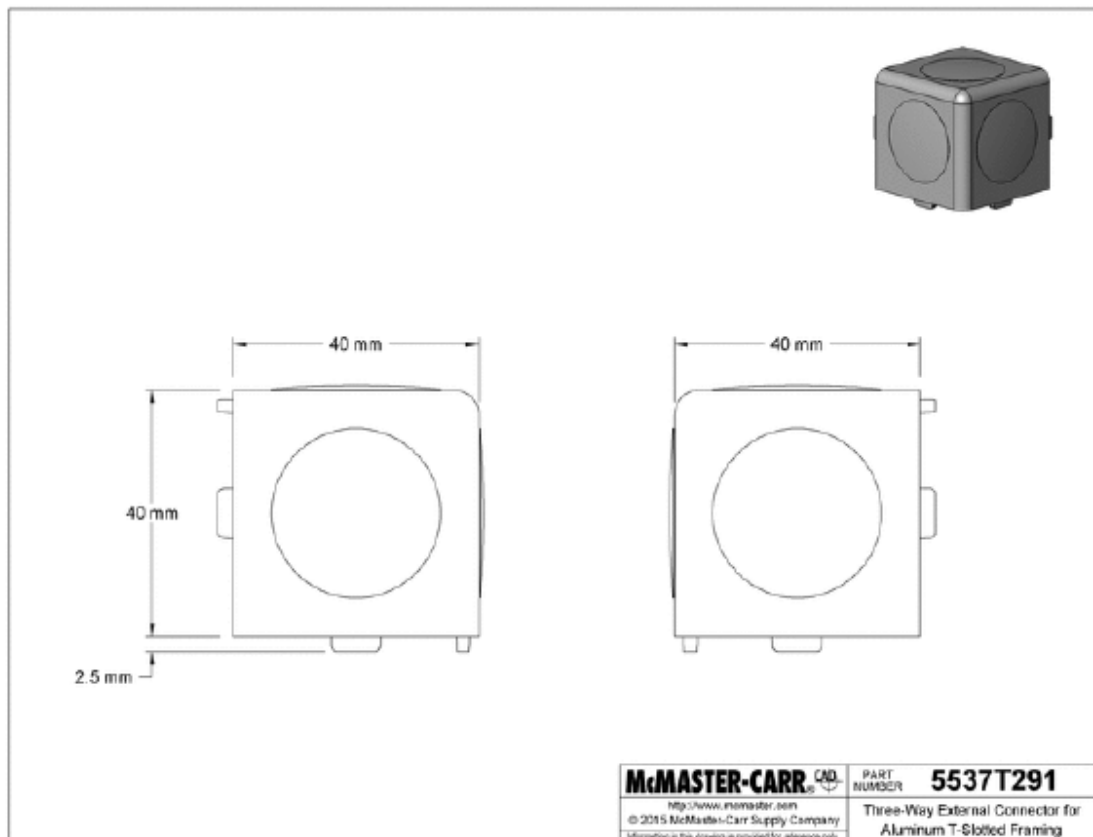
3-Way Corner Bracket for 40 mm High Single Rail

\$12.07 Each
5537T291



Three-Way Outside Corner Bracket for Single Rails

Framing Type	T-Slot
T-Slot Framing Component	Structural Bracket
Bracket Type	Corner
Corner Bracket Style	Three-Way Outside Corner
For Rail Profile	Single
For Rail Height	40mm
Length	1 5/8"
Color	Silver
Material	Lacquer-Coated Aluminum
Required Tap Thread Size	M8
Mounting Fasteners Included	Yes
Mounting Fastener Thread Size	M8
Mounting Fastener Thread Length	25mm
System of Measurement	Metric
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (01/18/2020, 205 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	Peoples Republic of China
Schedule B	761090.0050
ECCN	EAR99



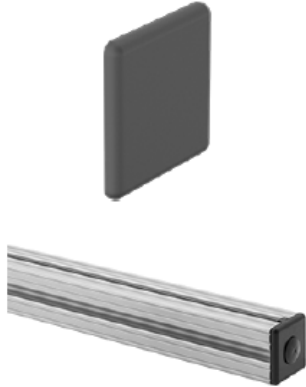
Anexo 12: T-Slotted Framing End Cap for 40mm High Single Rail



T-Slotted Framing

End Cap for 40 mm High Single Rail, Black

\$1.87 Each
5537T24



End Cap for Single Rails

Framing Type	T-Slot
T-Slot Framing Component	Cap and Seal
Cap and Seal Type	End Cap
For Rail Profile	Single
For Rail Height	40mm
Material	Glass-Fiber Nylon Plastic
System of Measurement	Metric
Color	Black
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (01/16/2020, 205 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	Germany
Schedule B	392890.9988
ECCN	EAR99

Seal T-slots, rail ends, and gaps between rails to keep out dust, debris, and other contaminants.
End caps snap on to protect the ends of rails from damage and keep out dust and grime.

McMASTER-CARR CAD

<http://www.mcmaster.com>

© 2015 McMaster-Carr Supply Company

Information in this drawing is provided for reference only.

PART NUMBER **5537T24**

End Cap for
Aluminum T-Slotted Framing

Anexo 13: End-Feed-Self-Aligning Nut

McMASTER-CARR.

T-Slotted Framing

End-Feed Self-Aligning Nut, M6 Thread Size

\$1.32 Each
5537T761



Framing Type	T-Slot
T-Slot Framing Component	Fastener
Fastener Type	Screw and Nut Set
Nut Style	Self-Aligning
Fastener Head Style	Button
For Rail Height	
Single	40mm
Double and Quad	80mm
Color	Silver
Material	Zinc-Plated Steel
Mounting	
Hole Location	Center
Fastener Installation Type	End Feed
Fastener Thread Size	M6
Fastener Thread Length	16mm
Fastener Drive Style	Hex
System of Measurement	Metric
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (01/18/2020, 205 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	Peoples Republic of China
Schedule B	731816.0000
ECCN	EAR99

McMASTER-CARR <small>McMASTER-CARR</small>	<small>CAD</small>	<small>PART NUMBER</small> 5537T761
<small>1830 Wenden, McMASTER-CARR.com © 2020 McMaster-Carr Supply Company Information in this drawing is provided for reference only.</small>		T-Slotted Framing Fastener

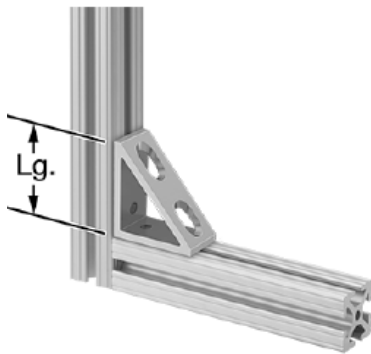
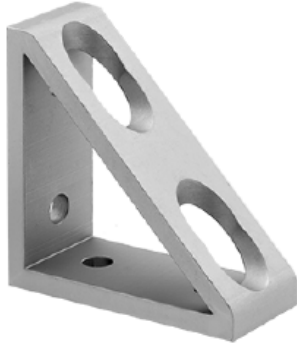
Anexo 14: T-Slotted Framing



T-Slotted Framing

Gusset Bracket for 40 mm High Rail, 3-1/8" Long, Silver

\$11.52 Each
5537T66



Open Extended Gusset for Single Rails


Framing Type	T-Slot
T-Slot Framing Component	Structural Bracket
Bracket Type	Corner
Corner Bracket Style	Open Extended Gusset
For Rail Profile	Single
For Rail Height	40mm
Length	3 1/8"
Material	Anodized Aluminum
Mounting Fasteners Included	Yes
Mounting Fastener Installation Type	Drop In
Mounting Fastener Thread Size	M8
Mounting Fastener Thread Length	16mm
System of Measurement	Metric
Color	Silver
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (01/18/2020, 205 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	Germany
Schedule B	761090.0050
ECCN	EAR99

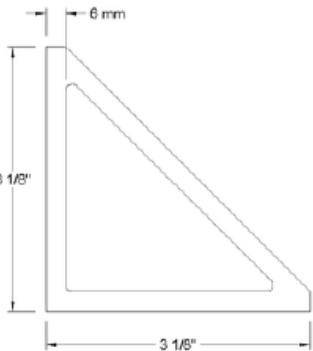
Connect T-slotted rails and reinforce joints for structural stability. Fasteners are included.

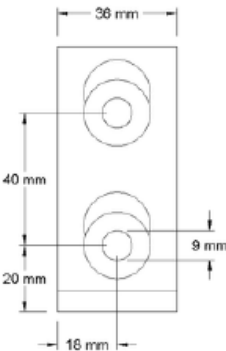
Corner, reducer, surface, and adapter brackets connect rails without machining.

Extended brackets have more connection points for stronger connections than standard brackets.

Open and closed gusset brackets are reinforced to limit sway for more structural stability than corner brackets.







McMASTER-CARR CAD

<http://www.mcmaster.com>

© 2011 McMaster-Carr Supply Company

Information in this drawing is provided for reference only.

PART NUMBER 5537T66

Corner Bracket for T-Slotted Framing

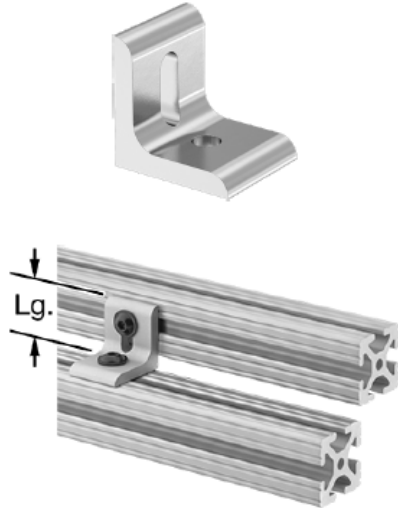
Anexo 15: T-Slotted Framing



T-Slotted Framing

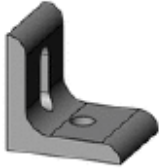
Silver Slotted Bracket for 1.5" High Rail, 1.5" Long

\$8.51 Each
3136N172



Slotted Corner Bracket for Single Rails

Framing Type	T-Slot
T-Slot Framing Component	Structural Bracket
Bracket Type	Corner
Corner Bracket Style	Slotted Corner
For Rail Profile	Single
For Rail Height	1 1/2"
Length	1 1/2"
Material	Anodized Aluminum
Mounting Fasteners Included	Yes
Mounting Fastener Installation Type	End Feed
Mounting Fastener Thread Size	5/16"-18
Mounting Fastener Thread Length	11/16"
System of Measurement	Inch
Color	Silver
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (07/16/2019, 201 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	Peoples Republic of China
Schedule B	781090.0050
ECCN	EAR99



For 5/16"-18

For 5/16"-18

McMASTER-CARR **PART NUMBER** **3136N172**

<http://www.mcmaster.com>

© 2021 McMaster-Carr Supply Company

Information in this drawing is provided for reference only.

T-Slotted Framing

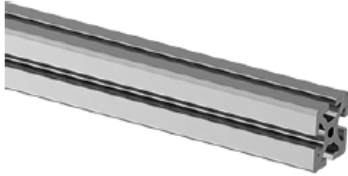
Anexo 16: T-Slotted Framing



T-Slotted Framing

Single Four Slot Rail, Silver, 20 mm Square, Solid

5537T101



Silver

Framing Type	T-Slot
T-Slot Framing Component	Rail
Rail Profile	Single
Single Rail Profile Style	Four Slot
Rail Height	20mm
Rail Width	20mm
Rail Construction	Solid
T-Slot Width	5mm
Material	6060 Aluminum
Temper	T6
Finish	Anodized
Color	Silver
System of Measurement	Metric
Length	1 ft., 2 ft., 3 ft., 4 ft., 5 ft., 6 ft., 8 ft., 10 ft.
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (01/18/2020, 205 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	United States
USMCA Qualifying	Yes
Schedule B	761090.0050
ECCN	EAR99
Related Product	Touch-Up Paint for Silver Rails (12 oz. Can)

Anexo 17: Stem Mount Swivel Caster



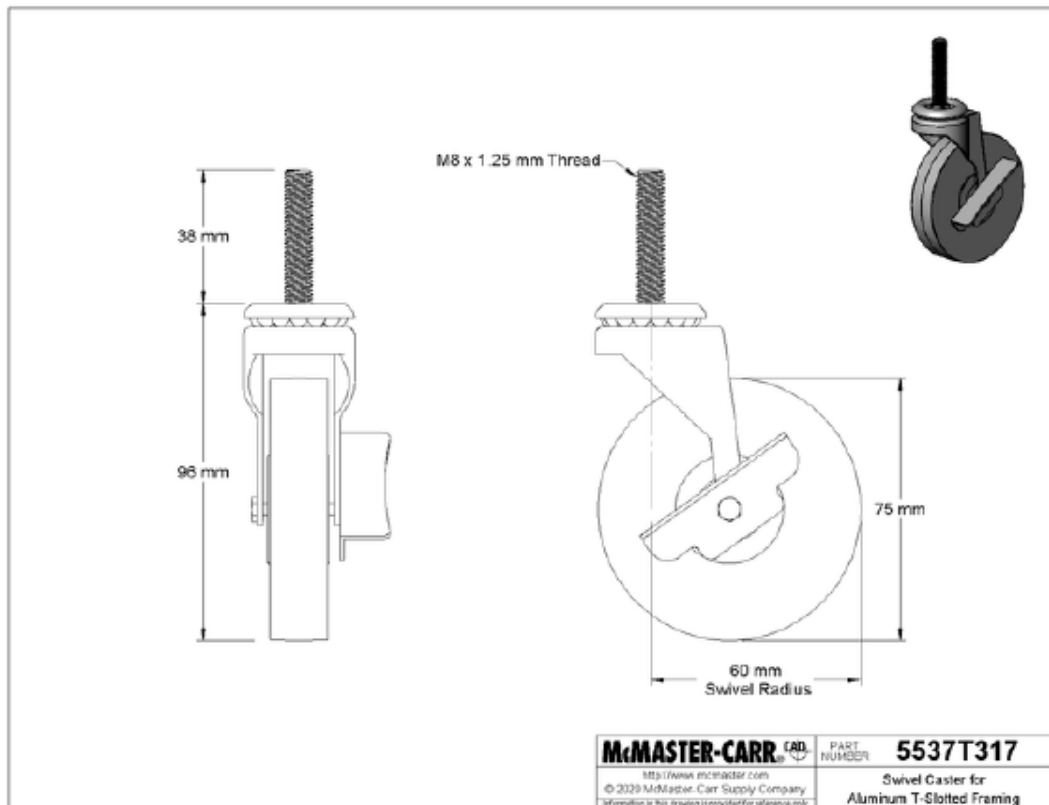
T-Slotted Framing

Stem Mount Swivel Caster for 30 and 40 mm High Single Rail


\$21.20 Each
5537T317



Framing Type	T-Slot
T-Slot Framing Component	Caster
Caster Type	Swivel
Mount Type	Stem
For Rail Height	Single
	30mm, 40mm
Capacity	85 lbs.
Color	Silver
Material	Zinc-Plated Steel
Wheel	
Diameter	75mm
Material	Polypropylene Plastic
Required Tap Thread Size	M8
Stem Thread Size	M8
System of Measurement	Metric
RoHS	RoHS 3 (2015/863/EU) Compliant
REACH	REACH (EC 1907/2006) (01/18/2020, 205 SVHC) Compliant
DFARS	Specialty Metals COTS-Exempt
Country of Origin	Taiwan
Schedule B	830220.0000
ECCN	EAR99
Related Product	General Purpose Taps



Anexo 18: Aluminio 6082

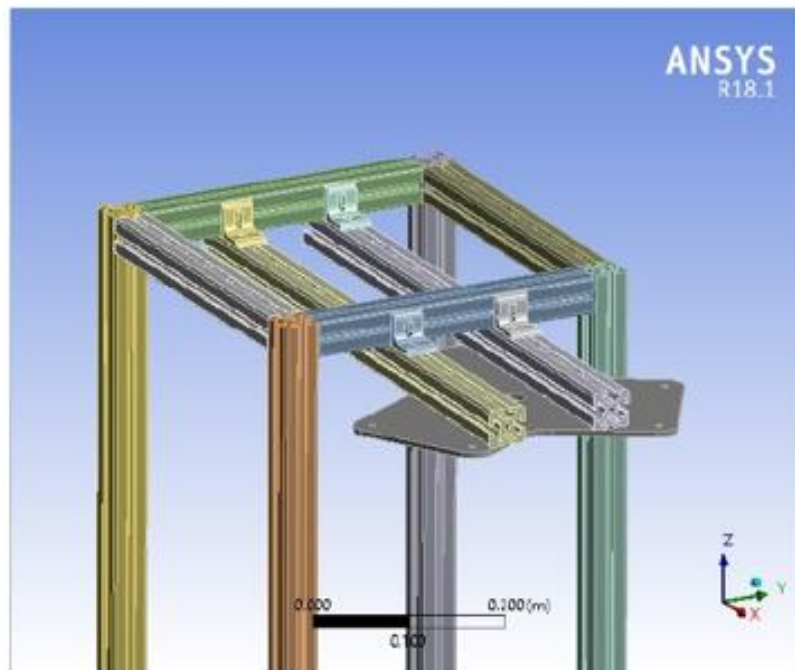
		ALLOY DATA SHEET EN AW-6082 [AlSi1MgMn]						Type: High strength structural alloy		
<p>The alloy EN AW-6082 is a high strength alloy for highly loaded structural applications. Typical applications are scaffolding elements, rail coach parts, offshore constructions, containers, machine building and mobile cranes. Due to the fine grained structure this alloy exhibits a good resistance to dynamic loading conditions. EN AW-6082 is certified for use in marine applications.</p>										
Chemical composition according to EN573-3 (weight%, remainder Al)										
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	remarks	others	
0.7 – 1.3	max. 0.50	max. 0.10	0.40 – 1.0	0.6 – 1.2	max 0.25	max 0.20	max 0.10		each max 0.05	total max 0.15
Mechanical properties according to EN755-2										
Temper*	Wallthickness e***	Yield stress Rp _{0.2} [MPa]	Tensile strength Rm [MPa]	Elongation		Hardness** HB				
				A [%]	A _{50mm} [%]					
T4	e ≤ 25	110	205	14	12	65				
T5	e ≤ 5	230	270	8	6	80				
T6	e ≤ 5	250	290	8	6	95				
	5 < e ≤ 25	260	310	10	8	95				
<p>*Temper designation according to EN515: T4-Naturally aged to a stable condition, T5-cooled from an elevated temperature forming operation and artificially aged, T6-Solution heat treated, quenched and artificially aged (T6 properties can be achieved by press quenching) ** Hardness values are for indication only ***For different wall thicknesses within one profile, the lowest specified properties shall be considered as valid for the whole profile cross section</p>										
Physical properties (approximate values, 20 °C)										
Density	Melting range	Electrical conductivity	Thermal conductivity	Co-efficient of thermal expansion	Modulus of elasticity					
[kg/m ³]	[°C]	[MS/m]	[W/m.K]	10 ⁻⁶ /K	[GPa]					
2700	585-650	24-32	170-220	23.4	~70					
Weldability¹ Gas: 3 TIG: 2 MIG: 1 Resistance welding: 3 Spot welding: 2 Typical filler materials (EN ISO18273): AlMg5Cr(A), AlMg4.5Mn0.7(A) or AlSi5. Due to the heat input during welding the mechanical properties will be reduced by approximately 50% (ref. EN1999-1).										
Machining characteristics¹: T4 temper: 4 T5 and T6 temper: 2										
Corrosion resistance¹ General: 2 Marine: 2										
Coating properties¹ Hard/protective anodising: 2 Bright/colour anodising: 3										
¹ Relative qualification ranging from 1-very good to 6 – unsuitable										
Nedal Aluminium P.O.-Box 2020 NL-3500 GA Utrecht, The Netherlands T. +31 30 2925711 F. +31 30 2939512 sales@nedal.nl www.nedal.com			Alloy data sheet EN AW-6082				Jun-2005 rev.00			

Anexo 19: Resultados del software Ansys de la sección de la mesa



Project

First Saved	Wednesday, August 4, 2021
Last Saved	Tuesday, August 24, 2021
Product Version	18.1 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Contact Regions](#)
 - [Mesh](#)
 - [Static Structural \(B5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(B6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Aluminum Alloy](#)
 - [Structural Steel](#)

Report Not Finalized

Not all objects described below are in a finalized state. As a result, data may be incomplete, obsolete or in error. View first state problem. To finalize this report, edit objects as needed and solve the analyses.

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (B4)

Geometry

TABLE 2
Model (B4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\Users\diosf\Desktop\Conjunto completo para ansys\Solamente mesa con nuevos perfiles.step
Type	Step
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	0.69987 m
Length Y	0.4 m
Length Z	1.314 m
Properties	
Volume	1.4542e-002 m ³
Mass	64.583 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	29
Active Bodies	29
Nodes	310948
Elements	179084
Mesh Metric	Element Quality
Min	1.04478707159464E-05
Max	0.999992675952669
Average	0.7630061924402
Standard Deviation	0.191380713306204
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Independent
Parameter Key	ANS_DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes

Temporary Directory	C:\Users\diosf\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	3136N172_T-Slotted Framing	3136N172_T-Slotted Framing	3136N172_T-Slotted Framing	3136N172_T-Slotted Framing	3136N172_T-Slotted Framing	3136N172_T-Slotted Framing	5537T709 (1) (2) (1)	5537T709 (1) (2) (1)
State	Meshed							
Graphics Properties								
Visible	Yes							
Transparency	1							
Definition								
Suppressed	No							
Stiffness Behavior	Flexible							
Coordinate System	Default Coordinate System							
Reference Temperature Behavior	By Environment							
Material								
Assignment	Aluminum Alloy							
Nonlinear Effects	Yes							
Thermal Strain Effects	Yes							
Bounding Box								
Length X	3.81e-002 m						0.665 m	
Length Y	3.3325e-002 m						4.e-002 m	
Length Z	3.81e-002 m						4.e-002 m	
Properties								
Volume	1.3266e-005 m³						6.0481e-004 m³	
Mass	3.6745e-002 kg						1.6753 kg	
Centroid X	0.44179 m		0.37821 m		5.1786e-002 m		0.32945 m	
Centroid Y	0.26191 m	0.14086 m	0.26191 m	0.14086 m	0.26191 m	0.14086 m	0.26191 m	0.14086 m
Centroid Z	1.285 m						1.254 m	
Moment of Inertia Ip1	5.683e-006 kg·m²						6.2024e-002 kg·m²	
Moment of Inertia Ip2	1.0751e-005 kg·m²						5.2161e-004 kg·m²	
Moment of Inertia Ip3	8.9642e-006 kg·m²						6.2024e-002 kg·m²	
Statistics								
Nodes	1098						2221	
Elements	591						334	
Mesh Metric								
Min	5.88405391524168E-02	5.88405391523971E-02	5.88405391524072E-02	5.88405391524117E-02	5.88405391524176E-02	5.88405391524012E-02	1.12652533079718E-05	1.12652533079718E-05
Max	0.988098527853865	0.988098527853848	0.988098527853864	0.988098527853894	0.988098527853853	0.988098527853884	1.32507888920678E-03	
Average	0.551465239882311		0.551465239882317		0.551465239882313		2.80029242081193E-04	
Standard Deviation	0.171794032775632	0.171794032775631	0.171794032775633	0.171794032775631	0.171794032775628	0.17179403277563	2.96426174396227E-04	

TABLE 4
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	5537T709 (1) (1) (1)	5537T709 (1) (1) (1)	5537T709 (1) (1) (1)	5537T709 (1) (1) (1)	5537T709 (1) (2)	5537T709 (1) (2)	prueba estanteparte superior	5537T70
State	Meshed							
Graphics Properties								
Visible	Yes							
Transparency	1							
Definition								
Suppressed	No							
Stiffness Behavior	Flexible							
Coordinate System	Default Coordinate System							
Reference Temperature Behavior	By Environment							
Material								
Assignment	Aluminum Alloy				Structural Steel			
Nonlinear Effects	Yes							
Thermal Strain Effects	Yes							
Bounding Box								
Length X	4.e-002 m				0.35 m		0.5 m	
Length Y					4.e-002 m		0.4 m	
Length Z	0.6 m				4.e-002 m		1.2e-002 m	
Properties								
Volume	5.4569e-004 m³				3.1832e-004 m³		2.3938e-003 m³	
Mass	1.5116 kg				0.88174 kg		18.792 kg	
Centroid X	0.41 m		2.0001e-002 m		0.215 m		0.25005 m	

Centroid Y	2.e-002 m	0.38 m	2.e-002 m	0.38 m	2.e-002 m	0.2 m	0.38
Centroid Z	1.014 m			1.294 m		0.708 m	
Moment of Inertia Ip1	4.5599e-002 kg·m²			9.1417e-003 kg·m²		0.24998 kg·m²	
Moment of Inertia Ip2	4.706e-004 kg·m²			2.7451e-004 kg·m²		0.39155 kg·m²	
Moment of Inertia Ip3	4.5599e-002 kg·m²			9.1417e-003 kg·m²		0.64108 kg·m²	
Statistics							
Nodes	1978			1436		82554	
Elements	284			168		52129	
Mesh Metric	Element Quality						
Min	1.98003001121638E-05	1.98003001121635E-05	1.98003001121641E-05	1.98003001121646E-05	1.14593291517744E-05	1.14593291517731E-05	4.20012444184297E-02
Max	1.71787116750114E-03	1.71787116750112E-03	1.71787116750114E-03	9.1466704715061E-04	9.14667047150565E-04	0.999891550877672	2.71123454503
Average	3.96050924735318E-04		3.96050924735319E-04	3.96050924735318E-04	2.40888987008421E-04	2.4088898700842E-04	0.775893170518765
Standard Deviation	3.90351684019318E-04		3.90351684019317E-04	2.45847512293914E-04	2.45847512293912E-04	0.14566107816186	6.24675864404

TABLE 5
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	5537T709	5537T709	5537T709 (t) (t)	5537T709 (t) (t)	5537T709 (t) (t)	5537T709 (t) (t)	mesaDown	
State	Meshed							
Graphics Properties								
Visible	Yes							
Transparency	1							
Definition								
Suppressed	No							
Stiffness Behavior	Flexible							
Coordinate System	Default Coordinate System							
Reference Temperature	By Environment							
Behavior	None							
Material								
Assignment	Aluminum Alloy						Structural Steel	
Nonlinear Effects	Yes							
Thermal Strain Effects	Yes							
Bounding Box								
Length X	4.e-002 m						0.5 m	
Length Y	0.4 m	4.e-002 m				0.4 m		
Length Z	4.e-002 m		0.61 m				1.2e-002 m	
Properties								
Volume	3.6379e-004 m³		5.5478e-004 m³			2.3898e-003 m³		
Mass	1.0077 kg		1.5368 kg			18.76 kg		
Centroid X	2.0001e-002 m		0.48 m		2.e-002 m			
Centroid Y	0.2 m		0.38 m	2.e-002 m	0.38 m	2.e-002 m	0.20002 m	
Centroid Z	0.682 m	3.2001e-002 m		0.357 m			5.9972e-003 m	
Moment of Inertia Ip1	1.3598e-002 kg·m²		4.7908e-002 kg·m²			0.24921 kg·m²		
Moment of Inertia Ip2	3.1373e-004 kg·m²		4.7841e-004 kg·m²			0.39013 kg·m²		
Moment of Inertia Ip3	1.3598e-002 kg·m²		4.7908e-002 kg·m²			0.63889 kg·m²		
Statistics								
Nodes	1688			2021			168354	
Elements	256			286			109368	
Mesh Metric	Element Quality							
Min	3.9932328944172E-05	3.99323289441766E-05	1.04478707159471E-05	1.04478707159473E-05	1.04478707159467E-05	1.04478707159464E-05	7.32694031117454E-02	
Max	5.12871813304087E-03	5.12871813304081E-03	1.61795853488711E-03	1.61795853488709E-03			0.999992675952669	
Average	1.11225923387355E-03		3.67420224470392E-04		3.67420224470393E-04			0.804993227909545
Standard Deviation	1.17280579950484E-03		3.58430923167346E-04		3.58430923167347E-04			0.120204707893166

Coordinate Systems

TABLE 6
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

Connections

TABLE 7

Model (B4) > Connections

Object Name	Connections
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 8
Model (B4) > Connections > Contacts

Object Name	Contacts
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0
Tolerance Value	3.8539e-003 m
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face Overlap Tolerance	Off
Cylindrical Faces	Include
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies
Statistics	
Connections	56
Active Connections	56

TABLE 9
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region	Contact Region 2	Contact Region 3	Contact Region 4	Contact Region 5	Contact Region 6	Contact Region 7	Contact Region 8	Contact Region 9	Contact Region 10	Contact Region 11
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face										
Target	4 Faces	6 Faces	4 Faces	6 Faces	4 Faces	6 Faces	4 Faces	6 Faces	4 Faces	6 Faces	4 Faces
Contact Bodies	3136N172_T-Slotted Framing										
Target Bodies	5537T709 (1) (2) (1)	5537T709 (2)	5537T709 (1) (2) (1)	5537T709 (2)	5537T709 (1) (2) (1)	5537T709 (2)	5537T709 (1) (2) (1)	5537T709 (2)	5537T709 (1) (2) (1)	5537T709 (2)	5537T709 (1) (2) (1)
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	3.8539e-003 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 10
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 12	Contact Region 13	Frictionless - 5537T709 (1) (2) (1) To 5537T709 (2)	Frictionless - 5537T709 (1) (2) (1) To 5537T709 (2)	Contact Region 16	Frictionless - 5537T709 (1) (2) (1) To 5537T709 (2)	Frictionless - 5537T709 (1) (2) (1) To 5537T709 (2)	Contact Region 19	Contact Region 20	Contact Region 21	Contact Region 22	
State	Fully Defined											
Scope												
Scoping Method	Geometry Selection											
Contact	1 Face	6 Faces									1 Face	7 Faces
Target	6 Faces	1 Face	6 Faces				2 Faces		6 Faces			7 Faces
Contact Bodies	3136N172_T-Slotted Framing	5537T709 (1) (2) (1)								5537T709 (2)		
Target Bodies	5537T709 (2)	Nueva union a mesa (QUITAR PERNOS) v12_tapita v21_Componente13	5537T709 (2)		Nueva union a mesa (QUITAR PERNOS) v12_tapita v21_Componente13	5537T709 (2)		5537T709 (1) (1) (1)	5537T709 (1) (2)			
Definition												
Type	Bonded		Frictionless		Bonded		Frictionless		Bonded			

Scope Mode	Automatic			
Behavior	Program Controlled			
Trim Contact	Program Controlled			
Trim Tolerance	3.8539e-003 m			
Suppressed	No			
Advanced				
Formulation	Program Controlled			
Detection Method	Program Controlled			
Penetration Tolerance	Program Controlled			
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled		Program Controlled	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled			
Update Stiffness	Program Controlled			
Pinball Region	Program Controlled			
Stabilization Damping Factor		0.		0.
Time Step Controls		None		None
Geometric Modification				
Contact Geometry Correction	None			
Target Geometry Correction	None			
Interface Treatment		Add Offset, No Ramping		Add Offset, No Ramping
Offset		0. m		0. m

TABLE 11
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 23	Contact Region 24	Contact Region 25	Contact Region 26	Contact Region 27	Contact Region 28	Contact Region 29	Contact Region 30	Contact Region 31	Contact Region 32	Contact Region 33
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face		7 Faces	6 Faces		1 Face	6 Faces	1 Face	6 Faces	1 Face	6 Faces
Target	6 Faces		7 Faces					1 Face			
Contact Bodies	5537T709 (2)					5537T709 (1) (1) (1)					
Target Bodies	5537T709 (1) (1) (1)		5537T709 (1) (2)		prueba estanteparte superior	5537T709 (1) (2)	prueba estanteparte superior	5537T709 (1) (2)	prueba estanteparte superior	5537T709 (1) (2)	
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	3.8539e-003 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 12
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 34	Contact Region 35	Contact Region 36	Contact Region 37	Contact Region 38	Contact Region 39	Contact Region 40	Contact Region 41	Contact Region 42	Contact Region 43	Contact Region 44
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face										
Target	1 Face		6 Faces			1 Face	6 Faces	1 Face	6 Faces	1 Face	6 Faces
Contact Bodies	5537T709 (1) (1) (1)		prueba estanteparte superior			5537T709 (1)					
Target Bodies	prueba estanteparte superior		5537T709 (1)		5537T709	5537T709 (1) (1)	5537T709		5537T709 (1) (1)		5537T709
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										

Trim Tolerance	3.8539e-003 m
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 13
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 45	Contact Region 46	Contact Region 47	Contact Region 48	Contact Region 49	Contact Region 50	Contact Region 51	Contact Region 52	Contact Region 53	Contact Region 54	Contact Region 55
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	6 Faces	7 Faces	6 Faces	1 Face	6 Faces	7 Faces	6 Faces				
Target	1 Face	7 Faces	1 Face	6 Faces	1 Face	7 Faces	1 Face				
Contact Bodies	5537T709 (1)(1)			5537T709 (1)		5537T709 (1) (1)		mesaDown		5537T709	
Target Bodies	5537T709 (1)(1)			mesaDown		5537T709 (1) (1)		mesaDown		5537T709 (1) (1)	
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	3.8539e-003 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 14
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 56
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	6 Faces
Target	1 Face
Contact Bodies	5537T709
Target Bodies	mesaDown
Definition	
Type	Bonded
Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	3.8539e-003 m
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

Mesh

TABLE 15
Model (B4) > Mesh

Object Name	Mesh
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color

Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Element Order	Program Controlled
Sizing	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Fine
Element Size	7.0 m
Initial Size Seed	Assembly
Transition	Slow
Span Angle Center	Coarse
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeature Size	Default
Minimum Edge Length	5.5222e-005 m
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	High
Mesh Metric	Element Quality
Min	1.0448e-005
Max	0.99999
Average	0.76301
Standard Deviation	0.19138
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	10
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	0
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	No
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
Nodes	310948
Elements	179084

Static Structural (B5)

TABLE 16
Model (B4) > Analysis

Object Name	Static Structural (B5)
State	Not Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

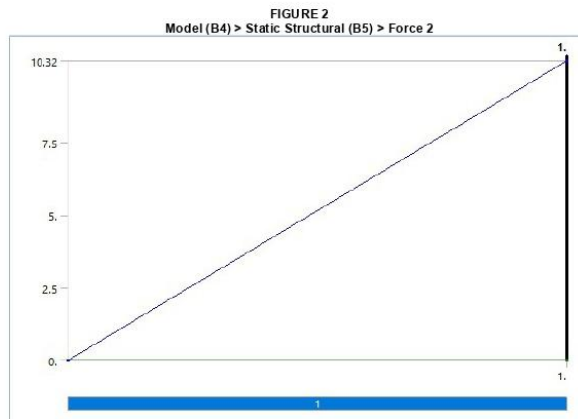
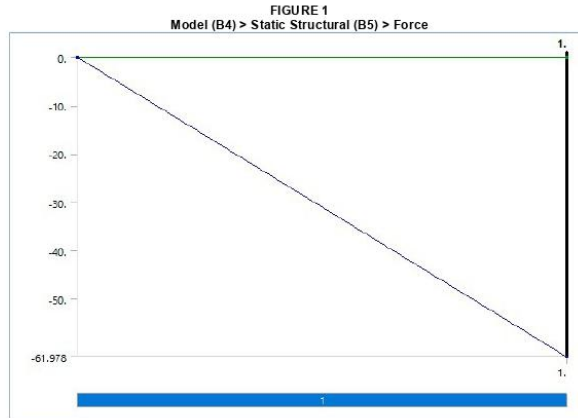
TABLE 17
Model (B4) > Static Structural (B5) > Analysis Settings

Object Name	Analysis Settings
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Rotordynamics Controls	
Coriolis Effect	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Combined Restart Files	Program Controlled
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled

Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\Users\diosf\Desktop\Tesis\ANSys con estructura\Mesa con nuevos perfiles\Mesa con nuevos perfiles_files\dp0\SYSTEMECH
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	Yes
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 18
Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads

Object Name	Fixed Support	Force	Force 2
State	Fully Defined	Suppressed	Suppressed
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	1 Face	6 Faces	
Definition			
Type	Fixed Support	Force	
Suppressed	No	Yes	
Define By	Components		
Coordinate System	Global Coordinate System		
X Component	0. N (ramped)		
Y Component	0. N (ramped)		
Z Component	-61.978 N (ramped) 10.32 N (ramped)		



Solution (B6)

TABLE 19
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution

Object Name	Solution (B6)
State	Obsolete
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1
Refinement Depth	2
Information	
Status	Solve Required
MAPDL Elapsed Time	7 m. 17 s
MAPDL Memory Used	6.1445 GB
MAPDL Result File Size	152.31 MB
Post Processing	
Beam Section Results	No

TABLE 20
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Solution Information

Object Name	Solution Information
State	Obsolete
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 21
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Results

Object Name	Equivalent Stress	Total Deformation
State		Obsolete
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation
By		Time
Display Time		Last
Calculate Time History		Yes
Identifier		
Suppressed		No
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	
Results		
Minimum	9.1089e-004 Pa	0. m
Maximum	1.9196e+006 Pa	3.9773e-005 m
Minimum Occurs On	mesaDown	
Maximum Occurs On	5537T709 (1) (2) (1) Nueva union a mesa (QUITAR PERNOS) v12_tapita v21_Componente13	
Information		
Time	1. s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	13	

FIGURE 3
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress

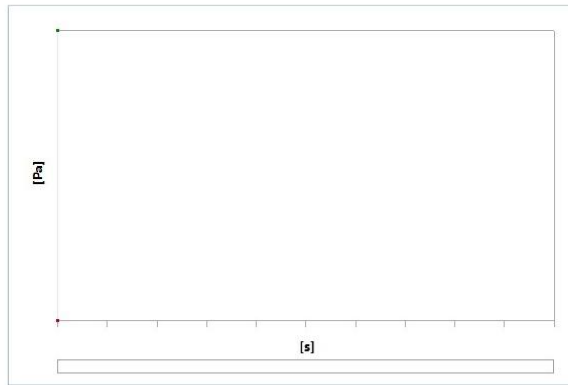


TABLE 22
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]
1.	9.1089e-004	1.9196e+006

FIGURE 4
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Total Deformation

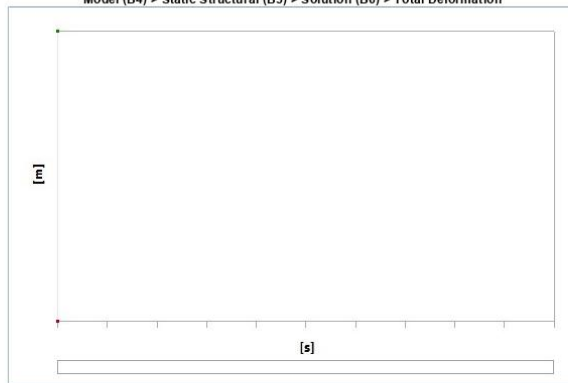


TABLE 23
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Total Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]
1.	0.	3.9773e-005

Material Data

Aluminum Alloy

TABLE 24
Aluminum Alloy > Constants

Density	2770 kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	2.3e-005 C ⁻¹
Specific Heat	875 J kg ⁻¹ C ⁻¹

TABLE 25
Aluminum Alloy > Appearance

Red	Green	Blue
138	104	46

TABLE 26
Aluminum Alloy > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa	0
----------------------------------	---

TABLE 27
Aluminum Alloy > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa	2.8e+008
-------------------------------	----------

TABLE 28
Aluminum Alloy > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa	0
---------------------------	---

Tensile Yield Strength Pa
2.8e+008

TABLE 29
Aluminum Alloy > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
3.1e+008

TABLE 30
Aluminum Alloy > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22

TABLE 31
Aluminum Alloy > Isotropic Thermal Conductivity

Thermal Conductivity W m^-1 C^-1	Temperature C
114	-100
144	0
165	100
175	200

TABLE 32
Aluminum Alloy > Alternating Stress R-Ratio

Alternating Stress Pa	Cycles	R-Ratio
2.758e+008	1700	-1
2.413e+008	5000	-1
2.068e+008	34000	-1
1.724e+008	1.4e+005	-1
1.379e+008	8.e+005	-1
1.172e+008	2.4e+006	-1
8.963e+007	5.5e+007	-1
8.274e+007	1.e+008	-1
1.706e+008	50000	-0.5
1.396e+008	3.5e+005	-0.5
1.086e+008	3.7e+006	-0.5
8.791e+007	1.4e+007	-0.5
7.757e+007	5.e+007	-0.5
7.239e+007	1.e+008	-0.5
1.448e+008	50000	0
1.207e+008	1.9e+005	0
1.034e+008	1.3e+006	0
9.308e+007	4.4e+006	0
8.618e+007	1.2e+007	0
7.239e+007	1.e+008	0
7.412e+007	3.e+005	0.5
7.067e+007	1.5e+006	0.5
6.636e+007	1.2e+007	0.5
6.205e+007	1.e+008	0.5

TABLE 33
Aluminum Alloy > Isotropic Resistivity

Resistivity ohm m	Temperature C
2.43e-008	0
2.67e-008	20
3.63e-008	100

TABLE 34
Aluminum Alloy > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	7.1e+010	0.33	6.9608e+010	2.6692e+010

TABLE 35
Aluminum Alloy > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
1

Structural Steel

TABLE 36
Structural Steel > Constants

Density	7850 kg m^-3
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C^-1
Specific Heat	434 J kg^-1 C^-1
Isotropic Thermal Conductivity	60.5 W m^-1 C^-1
Isotropic Resistivity	1.7e-007 ohm m

TABLE 37
Structural Steel > Appearance

Red	Green	Blue
132	139	179

TABLE 38
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 39
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa

2.5e+008

TABLE 40
Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 41
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
4.6e+008

TABLE 42
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22

TABLE 43
Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3.999e+009	10	0
2.827e+009	20	0
1.896e+009	50	0
1.413e+009	100	0
1.069e+009	200	0
4.41e+008	2000	0
2.62e+008	10000	0
2.14e+008	20000	0
1.38e+008	1.e+005	0
1.14e+008	2.e+005	0
8.62e+007	1.e+006	0

TABLE 44
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9.2e+008	-0.106	0.213	-0.47	1.e+009	0.2

TABLE 45
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010	

TABLE 46
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

Anexo 20: Resultados del software Ansys de la sección del robot

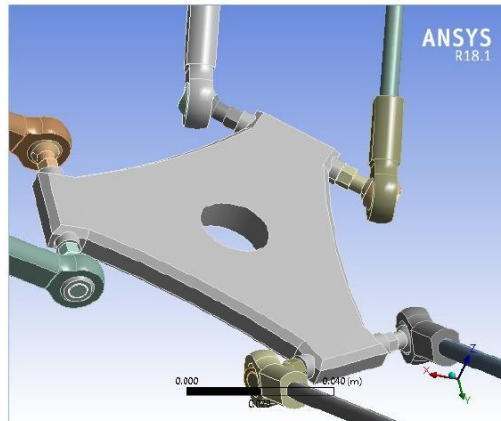
Project

Page 1 of 15



Project

First Saved	Wednesday, August 4, 2021
Last Saved	Tuesday, August 24, 2021
Product Version	18.1 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



file:///C:/Users/diosf/AppData/Roaming/Ansys/v181/Mechanical_Report/Mechanical_Rep... 15/9/2021

Contents

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
 - o [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - o [Coordinate Systems](#)
 - o [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Contact Regions](#)
 - o [Mesh](#)
 - o [Static Structural \(B5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(B6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - o [Aluminum Alloy](#)
 - o [Structural Steel](#)

Report Not Finalized

Not all objects described below are in a finalized state. As a result, data may be incomplete, obsolete or in error. View first state problem. To finalize this report, edit objects as needed and solve the analyses.

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (B4)

Geometry

TABLE 2
Model (B4) > Geometry

Object Name	Geometry	
State	Fully Defined	
Definition		
Source	C:\Users\diosf\Desktop\Conjunto final del robot\nuevo conjunto para ansys sin roscas.step	
Type	Step	
Length Unit	Meters	
Element Control	Program Controlled	
Display Style	Body Color	
Bounding Box		
Length X	0.46993 m	
Length Y	0.6836 m	
Length Z	0.37545 m	
Properties		
Volume	1.3215e-003 m³	
Mass	7.9433 kg	
Scale Factor Value	1.	
Statistics		
Bodies	65	
Active Bodies	65	
Nodes	516408	
Elements	324900	
Mesh Metric	Element Quality	
Min	3.23380972525965E-02	
Max	0.9997786838664151	
Average	0.708672019449552	
Standard Deviation	0.193138635591825	
Basic Geometry Options		
Solid Bodies	Yes	
Surface Bodies	Yes	
Line Bodies	No	
Parameters	Independent	
Parameter Key	ANS,DS	
Attributes	No	
Named Selections	No	
Material Properties	No	
Advanced Geometry Options		
Use Associativity	Yes	
Coordinate Systems	No	
Reader Mode Saves Updated File	No	
Use Instances	Yes	
Smart CAD Update	Yes	
Compare Parts On Update	No	
Attach File Via Temp File	Yes	

Temporary Directory	C:\Users\diosf\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	Base efector	soporte rodamiento	soporte rodamiento	soporte rodamiento	soporte rodamiento	soporte rodamiento	soporte rodamiento	base final
State	Meshed							
Graphics Properties								
Visible	Yes							
Transparency	1							
Definition								
Suppressed	No							
Stiffness Behavior	Flexible							
Coordinate System	Default Coordinate System							
Reference Temperature Behavior	By Environment							
Material								
Assignment	Aluminum Alloy	Structural Steel			Aluminum Alloy		Structural Steel	
Nonlinear Effects	Yes							
Thermal Strain Effects	Yes							
Bounding Box								
Length X	0.14126 m	1.7062e-002 m	2.2e-002 m		3.2392e-002 m	4.4e-002 m	0.33887 m	
Length Y	0.1365 m	2.253e-002 m	7.e-003 m		4.4105e-002 m	1.2e-002 m	0.36837 m	
Length Z	9.0005e-003 m	2.2e-002 m		5.6e-002 m			6.e-003 m	
Properties								
Volume	4.4545e-005 m³	2.3091e-006 m³			2.477e-005 m³		4.4211e-004 m³	
Mass	0.12339 kg	1.8126e-002 kg			6.8612e-002 kg		3.4705 kg	
Centroid X	-0.15867 m	-5.6821e-002 m	-9.3176e-002 m	0.15 m	-5.4549e-002 m	-9.5451e-002 m	0.15 m	-4.3814e-004 m
Centroid Y	-4.3466e-003 m	-0.1404 m	0.11841 m	2.0993e-002 m	-0.14171 m	0.1181 m	2.3618e-002 m	-5.0407e-005 m
Centroid Z	-0.3577 m	-3.4e-002 m			-2.6933e-002 m		3.e-003 m	
Moment of Inertia Ip1	6.8584e-005 kg·m²	6.8316e-007 kg·m²			1.959e-005 kg·m²		2.3554e-002 kg·m²	
Moment of Inertia Ip2	6.8585e-005 kg·m²	6.8378e-007 kg·m²			1.2827e-005 kg·m²		2.3878e-002 kg·m²	
Moment of Inertia Ip3	1.3554e-004 kg·m²	1.2201e-006 kg·m²			3.0733e-005 kg·m²		4.7411e-002 kg·m²	
Statistics								
Nodes	10173	206			2382		6921	
Elements	6445	23			1525		881	
Mesh Metric	Element Quality							
Min	0.167149347216036	0.253411386669933	0.253411386669932	0.253411386669934	0.160414467269691	0.160414467269677	0.160414467269685	0.11424967070113
Max	0.9997786838641511	0.960115855914382	0.96011585591438	0.960115855914382	0.999017284693511	0.999017284693524	0.999017284693528	0.98686117264621
Average	0.701529536676676	0.587954193473391	0.587954193473392		0.640703336758299	0.640703336758299	0.640703336758299	0.67809762737457
Standard Deviation	0.15753098029198	0.21456994858694	0.214569948586939	0.21456994858694	0.185536210251207	0.185536210251212	0.185536210251211	0.1400788409983

TABLE 4
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	Eje antebrazo	Eje antebrazo	Eje antebrazo	Componente8	Componente8	Componente8	Componente8
State	Meshed						
Graphics Properties							
Visible	Yes						
Transparency	1						
Definition							
Suppressed	No						
Stiffness Behavior	Flexible						
Coordinate System	Default Coordinate System						
Reference Temperature Behavior	By Environment						
Material							
Assignment	Aluminum Alloy			Structural Steel			
Nonlinear Effects	Yes						
Thermal Strain Effects	Yes						
Bounding Box							
Length X	0.31136 m	6.1586e-003 m	6.1587e-003 m	3.1091e-002 m	2.9666e-002 m	3.1091e-002 m	9.6818e-00
Length Y	9.3628e-003 m	0.26103 m		2.4077e-002 m	2.1607e-002 m	2.4077e-002 m	9.6818e-00
Length Z	8.3887e-002 m	0.19488 m		1.0611e-002 m	7.7591e-003 m	1.0611e-002 m	9.6818e-00
Properties							
Volume	6.2832e-006 m³			5.8819e-007 m³			
Mass	1.7404e-002 kg			4.6173e-003 kg			
Centroid X	5.4069e-002 m	-0.20826 m	-0.15893 m	-0.16592 m	-0.16818 m	-0.19916 m	0.21681 m
Centroid Y	2.6306e-002 m	-0.16851 m	-0.19699 m	0.32317 m	4.79e-002 m	3.001e-002 m	-1.789e-00
Centroid Z	-0.31635 m	-0.25798 m		-0.16531 m	-0.3577 m	-0.16531 m	-0.27499
Moment of Inertia Ip1	1.4685e-004 kg·m²			3.2592e-007 kg·m²			
Moment of Inertia Ip2	5.3159e-008 kg·m²			3.2592e-007 kg·m²			

file:///C:/Users/diosf/AppData/Roaming/Ansys/v181/Mechanical_Report/Mechanical_Rep... 15/9/2021

Moment of Inertia Ip3	1.4685e-004 kg·m²			1.4818e-008 kg·m²		
Statistics						
Nodes	4914			3349		
Elements	924			2100		
Mesh Metric	Element Quality					
Min	0.31964054376855	0.319640543768554	0.31964054376856	9.22409333059725E-02	9.22409333059348E-02	9.22409333059668E-02
Max	0.567198389334476	0.567198389334483	0.567198389334474	0.999423639266472	0.999423639266541	0.999423639266498
Average	0.443940541560204	0.443940541560205	0.443940541560205	0.75302871872613	0.753028718726129	0.753028718726128
Standard Deviation	7.45770208993794E-02	7.45770208993751E-02	7.45770208993751E-02	0.190182193439203	0.190182193439207	0.190182193439213

TABLE 5

Model (B4) > Geometry > Parts							
Object Name	Componente8	Componente8	Componente8	Componente8	Componente7	Componente7	Componente7
State	Meshed						
Graphics Properties							
Visible	Yes						
Transparency	1						
Definition							
Suppressed	No						
Stiffness Behavior	Flexible						
Coordinate System	Default Coordinate System						
Reference Temperature	By Environment						
Behavior	None						
Material							
Assignment	Structural Steel						
Nonlinear Effects	Yes						
Thermal Strain Effects	Yes						
Bounding Box							
Length X	3.1043e-002 m	2.9666e-002 m	3.1043e-002 m	1.4464e-002 m	1.2424e-002 m	1.4464e-002 m	1.4464e-002 m
Length Y	2.3992e-002 m	2.1607e-002 m	2.3992e-002 m	1.7115e-002 m	1.3581e-002 m	1.7115e-002 m	1.7115e-002 m
Length Z	1.0513e-002 m	7.7591e-003 m	1.0513e-002 m	1.5179e-002 m	1.11e-002 m	1.5179e-002 m	1.5179e-002 m
Properties							
Volume	5.8819e-007 m³						4.9105e-007 m³
Mass	4.6173e-003 kg						3.8547e-003 kg
Centroid X	-0.19901 m	-0.19916 m	-0.16817 m	-0.16802 m	-0.15675 m	-0.159 m	-0.20833 m
Centroid Y	-0.30891 m	-3.8703e-002 m	-5.6593e-002 m	-0.3268 m	0.32846 m	5.3194e-002 m	2.4715e-002 m
Centroid Z	-0.15825 m	-0.3577 m	-0.15825 m	-0.16531 m	-0.16531 m	-0.3577 m	-0.16531 m
Moment of Inertia Ip1	3.2592e-007 kg·m²						4.6248e-007 kg·m²
Moment of Inertia Ip2	3.2592e-007 kg·m²						4.6248e-007 kg·m²
Moment of Inertia Ip3	1.4818e-008 kg·m²						6.1231e-008 kg·m²
Statistics							
Nodes	3349						3740
Elements	2100						2371
Mesh Metric	Element Quality						
Min	9.22409333059575E-02	9.22409333059863E-02	9.22409333060429E-02	9.22409333060069E-02	9.32284437551762E-02	9.32284437551803E-02	9.32284437551815E-02
Max	0.999423639266565	0.999423639266513	0.999423639266517	0.999423639266454	0.998770129920233	0.998770129920203	0.998770129920277
Average	0.753028718726132	0.753028718726129	0.75302871872613	0.753028718726129	0.75976034611858	0.759760346118584	0.759760346118583
Standard Deviation	0.190182193439204	0.190182193439208	0.190182193439207	0.126522166893996	0.126522166893988	0.126522166893999	0.126522166893999

TABLE 6

Model (B4) > Geometry > Parts							
Object Name	Componente7	Componente7	Componente7	Componente7	Componente6	Componente6	Componente6
State	Meshed						
Graphics Properties							
Visible	Yes						
Transparency	1						
Definition							
Suppressed	No						
Stiffness Behavior	Flexible						
Coordinate System	Default Coordinate System						
Reference Temperature	By Environment						
Behavior	None						
Material							
Assignment	Structural Steel						
Nonlinear Effects	Yes						
Thermal Strain Effects	Yes						
Bounding Box							
Length X	1.3851e-002 m	1.4394e-002 m	1.2424e-002 m	1.4394e-002 m	1.2751e-002 m	1.4394e-002 m	1.4394e-002 m
Length Y	7.9375e-003 m	1.6994e-002 m	1.3581e-002 m	1.6994e-002 m	1.3581e-002 m	1.6994e-002 m	1.6994e-002 m
Length Z	1.3851e-002 m	1.504e-002 m	1.11e-002 m	1.504e-002 m	1.11e-002 m	1.504e-002 m	1.504e-002 m
Properties							
Volume	4.9105e-007 m³						

file:///C:/Users/diosf/AppData/Roaming/Ansys/v181/Mechanical_Report/Mechanical_Rep... 15/9/2021

Mass	3.8547e-003 kg							
Centroid X	0.21681 m	-0.20818 m	-0.20833 m	-0.159 m	-0.15885 m	-0.15683 m	-0.15893 m	-0.20826
Centroid Y	2.8479e-002 m	-0.30362 m	-3.3408e-002 m	-6.1887e-002 m	-0.3321 m	0.31961 m	6.2047e-002 m	3.3568e-0
Centroid Z	-0.27499 m	-0.15825 m	-0.3577 m		-0.15825 m	-0.17149 m		-0.35152 m
Moment of Inertia Ip1	4.6248e-008 kg·m²							
Moment of Inertia Ip2	4.6248e-008 kg·m²							
Moment of Inertia Ip3	6.1231e-008 kg·m²							
Statistics								
Nodes	3740							
Elements	2375							
Mesh Metric	Element Quality							
Min	9.32284437551957E-02	9.32284437551568E-02	9.32284437552685E-02	9.32284437551676E-02	9.32284437551853E-02	7.35084252844815E-02	0.073508425284416	7.3508425284416
Max	0.998770129920282	0.998770129920348	0.998770129920255	0.998770129920261	0.99877012992028	0.999325381584026	0.999325381584022	0.999325381
Average	0.759760346118582	0.759760346118581	0.759760346118583	0.759760346118582	0.759760346118582	0.560783834850135	0.560783834850134	0
Standard Deviation	0.126522166893984	0.126522166893992	0.126522166893996	0.126522166893986	0.126522166893993	0.219941937841163		0.21994193784116

TABLE 7
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	Componente6	Componente6	Componente6	Componente6	Componente6	Componente6	Union servo a bicep	Union servo
State	Meshed							
Graphics Properties								
Visible	Yes							
Transparency	1							
Definition								
Suppressed	No							
Stiffness Behavior	Flexible							
Coordinate System	Default Coordinate System							
Reference Temperature	By Environment							
Behavior	None							
Material								
Assignment	Structural Steel							
Nonlinear Effects	Yes							
Thermal Strain Effects	Yes							
Bounding Box								
Length X	3.776e-002 m			1.1365e-002 m			6.2523e-002 m	4.4734e-0
Length Y	9.0878e-003 m			3.8342e-002 m			6.9594e-002 m	3.87e-0
Length Z	2.434e-002 m			3.4628e-002 m			5.2071e-002 m	5.5716e-0
Properties								
Volume	1.6625e-006 m³							
Mass	1.3058e-002 kg							
Centroid X	-9.8201e-002 m	0.20634 m	-0.20818 m	-0.20833 m	-0.159 m	-0.15886 m	-7.6752e-002 m	0.1508
Centroid Y	2.4272e-002 m	2.834e-002 m	-0.29493 m	-4.2099e-002 m	-7.0578e-002 m	-0.32341 m	0.13195 m	4.9225e-0
Centroid Z	-0.35504 m	-0.27765 m	-0.16466 m		-0.35129 m	-0.16466 m	-3.5546e-002 m	-3.6936e-0
Moment of Inertia Ip1	1.3144e-006 kg·m²							
Moment of Inertia Ip2	2.4736e-007 kg·m²							
Moment of Inertia Ip3	1.436e-006 kg·m²							
Statistics								
Nodes	1099							
Elements	570							
Mesh Metric	Element Quality							
Min	7.35084252844809E-02	7.35084252844338E-02	7.35084252844728E-02	7.35084252844235E-02	7.35084252844758E-02	7.35084252844171E-02	6.04506210952884E-02	6.04506210952884E-02
Max	0.999325381584028	0.999325381584001	0.999325381583995	0.999325381584012	0.999325381584024	0.999325381584014	0.999500897378523	0.999500897378523
Average	0.560783834850133		0.560783834850134		0.560783834850133	0.560783834850135	0.715581231222008	0.715581231222008
Standard Deviation	0.219941937841159	0.219941937841157	0.219941937841158		0.219941937841159		0.179033750851316	0.179033750851316

TABLE 8
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	Eje bicep	Union bicep a antebrazo	Union bicep a antebrazo	Union bicep a antebrazo	Nuevo soporte de servos_2	MX-106T	MX-106T	MX-106T
State	Meshed							
Graphics Properties								
Visible	Yes							
Transparency	1							
Definition								
Suppressed	No							
Stiffness Behavior	Flexible							
Coordinate System	Default Coordinate System							
Reference Temperature	By Environment							
Behavior	None							
Material								
Assignment	Aluminum Alloy				Structural Steel			
Nonlinear Effects	Yes							

Thermal Strain Effects		Yes						
Bounding Box								
Length X	0.12239 m	4.8261e-002 m	3.4107e-002 m	4.8184e-002 m	7.3387e-002 m	8.8442e-002 m	6.5102e-002 m	5.53e-002 m
Length Y	0.18198 m	5.259e-002 m	3.1e-002 m	5.2457e-002 m	8.111e-002 m	8.403e-002 m		
Length Z	0.1259 m	3.9225e-002 m	4.0762e-002 m	3.8625e-002 m	5.6e-002 m	4.02e-002 m		
Properties								
Volume	7.1628e-005 m³	1.1551e-005 m³		3.3831e-005 m³		8.6549e-005 m³		
Mass	0.19841 kg	3.1997e-002 kg		0.26557 kg		0.67941 kg		
Centroid X	-0.13154 m	-0.18047 m	0.22051 m	-0.18244 m	-9.9423e-002 m	-0.1018 m	-3.2474e-002 m	0.13428 m
Centroid Y	-0.22783 m	0.31258 m	7.5225e-007 m	-0.316 m	-9.1205e-002 m	-9.6274e-002 m	0.1363 m	-4.0027e-002 m
Centroid Z	-9.5037e-002 m	-0.15781 m	-0.2682 m	-0.15082 m	-1.696e-002 m		-3.3996e-002 m	
Moment of Inertia I ₁₁	8.5458e-004 kg m²	4.3514e-006 kg m²		1.574e-004 kg m²		3.2496e-004 kg m²		
Moment of Inertia I ₂₂	9.6962e-006 kg m²	3.2206e-006 kg m²		1.9652e-004 kg m²		1.8033e-004 kg m²		
Moment of Inertia I ₃₃	8.5458e-004 kg m²	4.4223e-006 kg m²		1.8571e-004 kg m²		2.5759e-004 kg m²		
Statistics								
Nodes	580	4629		30336		62080		
Elements	90	3032		20301		42780		
Mesh Metric						Element Quality		
Min	0.555903893636076	0.113000013818687	0.113000013818707	0.1130000138187	5.33537091364936E-02	3.23380972525965E-02	0.032338097252599	3.2338097252599
Max	0.837459416468497	0.998248669657866	0.998248669657892	0.99824866965785	0.999477147221057	0.999031922295226	0.999031922295242	0.999031922295295
Average	0.717052112555504	0.721970695839789	0.721970695839789	0.721970695839787	0.637982677062173		0.74097965498019	
Standard Deviation	0.112044180304437	0.163756997681072	0.163756997681081	0.163756997681079	0.210100461562316	0.186098834164595	0.186098834164597	0.186098834164

Coordinate Systems

TABLE 9
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

Connections

TABLE 10
Model (B4) > Connections

Object Name	Connections
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 11
Model (B4) > Connections > Contacts

Object Name	Contacts
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	2.2764e-003 m
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face Overlap Tolerance	Off
Cylindrical Faces	Include
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies
Statistics	
Connections	88
Active Connections	88

TABLE 12
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region	Contact Region 2	Contact Region 3	Contact Region 4	Contact Region 5	Contact Region 6	Contact Region 7	Contact Region 8	Contact Region 9	Contact Region 10	Contact Region 11
State	Fully Defined										

Scope										
Scoping Method	Geometry Selection									
Contact	3 Faces			2 Faces			2 Faces			
Target	5 Faces	4 Faces	7 Faces	5 Faces	7 Faces	2 Faces	3 Faces	2 Faces	3 Faces	
Contact Bodies	Base efector									
Target Bodies	Componente8			soporte rodamiento		Union servo a bicep		soporte rodamiento		Union servo a bicep
Definition										
Type	Bonded									
Scope Mode	Automatic									
Behavior	Program Controlled									
Trim Contact	Program Controlled									
Trim Tolerance	2.2764e-003 m									
Suppressed	No									
Advanced										
Formulation	Program Controlled									
Detection Method	Program Controlled									
Penetration Tolerance	Program Controlled									
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled									
Normal Stiffness	Program Controlled									
Update Stiffness	Program Controlled									
Pinball Region	Program Controlled									
Geometric Modification										
Contact Geometry Correction	None									
Target Geometry Correction	None									

TABLE 13
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 12	Contact Region 13	Contact Region 14	Contact Region 15	Contact Region 16	Contact Region 17	Contact Region 18	Contact Region 19	Contact Region 20	Contact Region 21	Contact Region 22	
State	Fully Defined											
Scope												
Geometry Selection												
Scoping Method	2 Faces		1 Face			3 Faces			1 Face		2 Faces	
Contact	3 Faces		1 Face			3 Faces			1 Face		2 Faces	
Contact Bodies	soporte rodamiento		base final			Eje antebrazo						
Target Bodies	Union servo a bicep	base final		Nuevo soporte de servos_2		Nuevo soporte de servos_1		Nuevo soporte de servos		Componente7	Componente6	
Definition												
Type	Bonded											
Scope Mode	Automatic											
Behavior	Program Controlled											
Trim Contact	Program Controlled											
Trim Tolerance	2.2764e-003 m											
Suppressed	No											
Advanced												
Formulation	Program Controlled											
Detection Method	Program Controlled											
Penetration Tolerance	Program Controlled											
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled											
Normal Stiffness	Program Controlled											
Update Stiffness	Program Controlled											
Pinball Region	Program Controlled											
Geometric Modification												
Contact Geometry Correction	None											
Target Geometry Correction	None											

TABLE 14
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 23	Contact Region 24	Contact Region 25	Contact Region 26	Contact Region 27	Contact Region 28	Contact Region 29	Contact Region 30	Contact Region 31	Contact Region 32	Contact Region 33
State	Fully Defined										
Scope											
Geometry Selection											
Scoping Method	1 Face		2 Faces			1 Face		2 Faces		2 Faces	
Contact	1 Face		2 Faces			1 Face		2 Faces		2 Faces	
Contact Bodies	Componente7		Componente6			Eje antebrazo		Componente7		Componente6	
Target Bodies	Componente7		Componente6			Eje antebrazo		Componente7		Componente6	
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	2.2764e-003 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										

file:///C:/Users/diosf/AppData/Roaming/Ansys/v181/Mechanical_Report/Mechanical_Rep... 15/9/2021

Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 15
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 34	Contact Region 35	Contact Region 36	Contact Region 37	Contact Region 38	Contact Region 39	Contact Region 40	Contact Region 41	Contact Region 42	Contact Region 43	Contact Region 44
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	2 Faces	1 Face	2 Faces			1 Face	7 Faces	2 Faces	1 Face	2 Faces	
Target	2 Faces	1 Face	2 Faces			1 Face	3 Faces	2 Faces	1 Face	2 Faces	
Contact Bodies	Eje antebrazo										
Target Bodies	Componente6	Componente7	Componente6	Componente7	Componente6	Componente7	Componente6	Componente7	Componente6	Componente7	Componente6
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	2.2764e-003 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 16
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 45	Contact Region 46	Contact Region 47	Contact Region 48	Contact Region 49	Contact Region 50	Contact Region 51	Contact Region 52	Contact Region 53	Contact Region 54	Contact Region 55
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face	2 Faces	1 Face	5 Faces	2 Faces	3 Faces	2 Faces		3 Faces	2 Faces	
Target	1 Face	2 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	3 Faces	2 Faces		3 Faces	2 Faces	
Contact Bodies	Componente8										
Target Bodies	Componente6	Componente7	Componente6	Union bicip a antebrazo	Componente7	Union bicip a antebrazo	Componente7		Union bicip a antebrazo	Componente7	
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	2.2764e-003 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 17
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 56	Contact Region 57	Contact Region 58	Contact Region 59	Contact Region 60	Contact Region 61	Contact Region 62	Contact Region 63	Contact Region 64	Contact Region 65	Contact Region 66
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face	6 Faces	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face	6 Faces	1 Face	

Target	1 Face	3 Faces	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face	3 Faces	1 Face
Contact Bodies	Componente6		Componente7		Componente6		Componente7		Componente6	
Target Bodies	Componente6	Union bicip a antebrazo	Componente7	Componente6	Componente6	Componente6	Componente7	Componente6	Union bicip a antebrazo	Componente6
Definition										
Type	Bonded									
Scope Mode	Automatic									
Behavior	Program Controlled									
Trim Contact	Program Controlled									
Trim Tolerance	2.2764e-003 m									
Suppressed	No									
Advanced										
Formulation	Program Controlled									
Detection Method	Program Controlled									
Penetration Tolerance	Program Controlled									
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled									
Normal Stiffness	Program Controlled									
Update Stiffness	Program Controlled									
Pinball Region	Program Controlled									
Geometric Modification										
Contact Geometry Correction	None									
Target Geometry Correction	None									

TABLE 18
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 67	Contact Region 68	Contact Region 69	Contact Region 70	Contact Region 71	Contact Region 72	Contact Region 73	Contact Region 74	Contact Region 75	Contact Region 76	Contact Region 77
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face										2 Faces
Target	1 Face										2 Faces
Contact Bodies	Componente7										Union servo a bicip
Target Bodies	Componente6										Eje bicip
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	2.2764e-003 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 19
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 78	Contact Region 79	Contact Region 80	Contact Region 81	Contact Region 82	Contact Region 83	Contact Region 84	Contact Region 85	Contact Region 86	Contact Region 87	Contact Region 88	
State	Fully Defined											
Scope												
Scoping Method	Geometry Selection											
Contact	3 Faces	2 Faces	3 Faces	2 Faces	3 Faces	2 Faces	2 Faces	2 Faces	10 Faces	27 Faces	27 Faces	
Target	3 Faces	2 Faces	3 Faces	2 Faces	3 Faces	2 Faces	2 Faces	2 Faces	10 Faces	27 Faces	10 Faces	
Contact Bodies	Union servo a bicip						Eje bicip		Nuevo soporte de servos_2	MX-106T		
Target Bodies	MX-106T	Eje bicip	MX-106T	Eje bicip	MX-106T	Union bicip a antebrazo		MX-106T	Nuevo soporte de servos_1	Nuevo soporte de servos		
Definition												
Type	Bonded											
Scope Mode	Automatic											
Behavior	Program Controlled											
Trim Contact	Program Controlled											
Trim Tolerance	2.2764e-003 m											
Suppressed	No											
Advanced												
Formulation	Program Controlled											
Detection Method	Program Controlled											

file:///C:/Users/diosf/AppData/Roaming/Ansys/v181/Mechanical_Report/Mechanical_Rep... 15/9/2021

Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

Mesh

TABLE 20
Model (B4) > Mesh

Object Name	Mesh
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Element Order	Program Controlled
Sizing	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Assembly
Transition	Slow
Span Angle Center	Coarse
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Size	Default
Minimum Edge Length	2.5e-005 m
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
Min	3.2338e-002
Max	0.99978
Average	0.70867
Standard Deviation	0.19314
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	No
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
Nodes	516408
Elements	324900

Static Structural (B5)

TABLE 21
Model (B4) > Analysis

Object Name	Static Structural (B5)
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

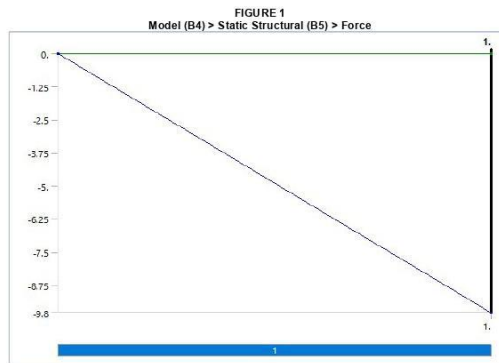
TABLE 22
Model (B4) > Static Structural (B5) > Analysis Settings

Object Name	Analysis Settings
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.

Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Rotordynamics Controls	
Coriolis Effect	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Combined Restart Files	Program Controlled
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\Users\diosf\Desktop\Tesis\Ansys con estructural\Solo robot\solorobot_files\dp0\SYSTEMECH
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 23
Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads

Object Name	Fixed Support	Force	Fixed Support 2
State	Suppressed		Fully Defined
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	1 Face	6 Faces	
Definition			
Type	Fixed Support	Force	Fixed Support
Suppressed	Yes	No	
Define By	Components		
Coordinate System	Global Coordinate System		
X Component	0. N (ramped)		
Y Component	0. N (ramped)		
Z Component	-9.8 N (ramped)		



Solution (B6)

TABLE 24
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution

Object Name	Solution (B6)
State	Solved

Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	1 m 42 s
MAPDL Memory Used	2 709 GB
MAPDL Result File Size	259.13 MB
Post Processing	
Beam Section Results	No

TABLE 25
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Solution Information

Object Name	Solution Information
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 26
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Results

Object Name	Equivalent Stress	Total Deformation	Equivalent Elastic Strain	Strain Energy
State	Solved			
Scope				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	All Bodies			
Definition				
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation	Equivalent Elastic Strain	Strain Energy
By	Time			
Display Time	Last			
Calculate Time History	Yes			
Identifier				
Suppressed	No			
Integration Point Results				
Display Option	Averaged		Averaged	
Average Across Bodies	No		No	
Results				
Minimum	117.84 Pa	0. m	6.8297e-010 m/m	7.9877e-017 J
Maximum	1.3201e+007 Pa	1.6733e-004 m	1.5236e-004 m/m	1.0402e-005 J
Minimum Occurs On	Nuevo soporte de servos	base final	Nuevo soporte de servos	MX-106T
Maximum Occurs On	Componentes	Eje antebrazo	Base efector	Eje bicip
Information				
Time	1. s			
Load Step	1			
Substep	1			
Iteration Number	1			

FIGURE 2
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress

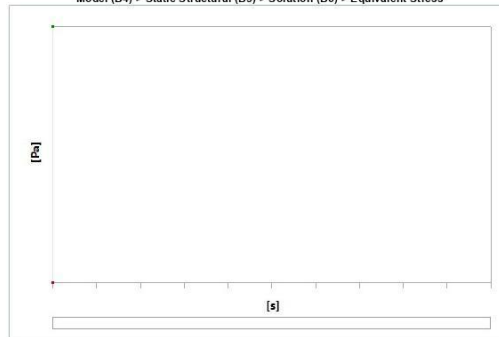


TABLE 27
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]
1.	117.84	1.3201e+007

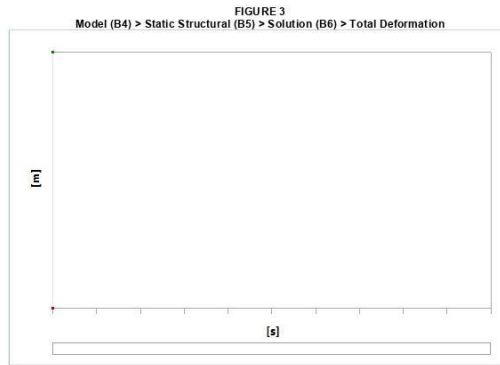


TABLE 28
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Total Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]
1.	0.	1.6733e-004

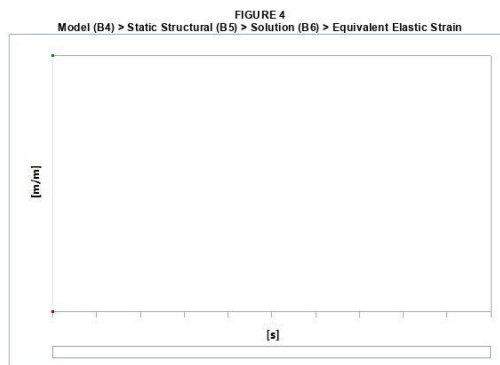


TABLE 29
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Equivalent Elastic Strain

Time [s]	Minimum [m/m]	Maximum [m/m]
1.	6.8297e-010	1.5236e-004

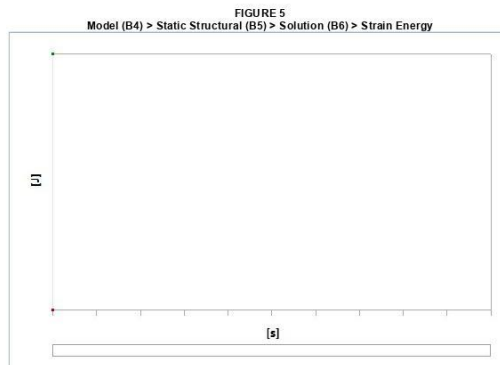


TABLE 30
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Strain Energy

Time [s]	Minimum [J]	Maximum [J]
1.	7.9877e-017	1.0402e-005

Material Data

Aluminum Alloy

TABLE 31
Aluminum Alloy > Constants

Density	2770 kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	2.3e-005 C ⁻¹
Specific Heat	875 J kg ⁻¹ C ⁻¹

TABLE 32
Aluminum Alloy > Appearance

Red	Green	Blue
138	104	46

TABLE 33
Aluminum Alloy > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 34
Aluminum Alloy > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2.8e+008

TABLE 35
Aluminum Alloy > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.8e+008

TABLE 36
Aluminum Alloy > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
3.1e+008

TABLE 37
Aluminum Alloy > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22

TABLE 38
Aluminum Alloy > Isotropic Thermal Conductivity

Thermal Conductivity W m ⁻¹ C ⁻¹	Temperature C
114	-100
144	0
165	100
175	200

TABLE 39
Aluminum Alloy > Alternating Stress R-Ratio

Alternating Stress Pa	Cycles	R-Ratio
2.758e+008	1700	-1
2.413e+008	5000	-1
2.068e+008	34000	-1
1.724e+008	1.4e+005	-1
1.379e+008	8.e+005	-1
1.172e+008	2.4e+006	-1
8.963e+007	5.5e+007	-1
8.274e+007	1.e+008	-1
1.706e+008	50000	-0.5
1.396e+008	3.5e+005	-0.5
1.086e+008	3.7e+006	-0.5
8.791e+007	1.4e+007	-0.5
7.757e+007	5.e+007	-0.5
7.239e+007	1.e+008	-0.5
1.448e+008	50000	0
1.207e+008	1.9e+005	0
1.034e+008	1.3e+006	0
9.308e+007	4.4e+006	0
8.618e+007	1.2e+007	0
7.239e+007	1.e+008	0
7.412e+007	3.e+005	0.5
7.067e+007	1.5e+006	0.5
6.636e+007	1.2e+007	0.5
6.205e+007	1.e+008	0.5

TABLE 40
Aluminum Alloy > Isotropic Resistivity

Resistivity ohm m	Temperature C
2.43e-008	0
2.67e-008	20
3.63e-008	100

TABLE 41

Aluminum Alloy > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	7.1e+010	0.33	6.9608e+010	2.6692e+010

TABLE 42

Aluminum Alloy > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
1

Structural Steel

TABLE 43

Structural Steel > Constants

Density	7850 kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	434 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Thermal Conductivity	60.5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Resistivity	1.7e-007 ohm m

TABLE 44

Structural Steel > Appearance

Red	Green	Blue
132	139	179

TABLE 45

Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 46

Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 47

Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 48

Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
4.6e+008

TABLE 49

Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22

TABLE 50

Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3.999e+009	10	0
2.827e+009	20	0
1.896e+009	50	0
1.413e+009	100	0
1.069e+009	200	0
4.41e+008	2000	0
2.62e+008	10000	0
2.14e+008	20000	0
1.38e+008	1.e+005	0
1.14e+008	2.e+005	0
8.62e+007	1.e+006	0

TABLE 51

Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9.2e+008	-0.106	0.213	-0.47	1.e+009	0.2

TABLE 52

Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010

TABLE 53

Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

Anexo 21: Motor DYNAMIXEL MX-106T

Show

Home > Product Information > Dynamixel > MX Series > MX-106

ROBOTIS e-Manual v1.24.00

MX-106T / MX-106R

Parts Photo

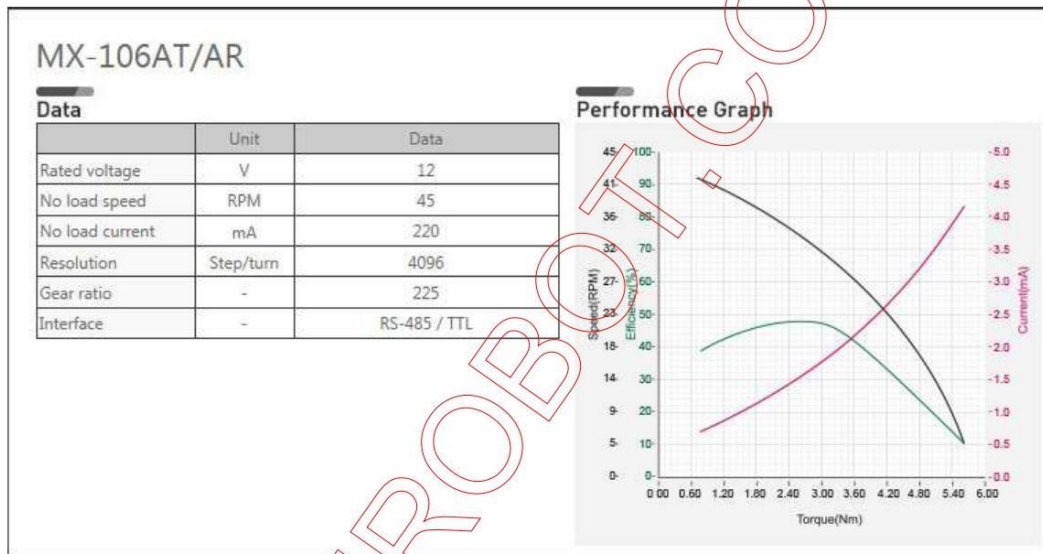


- ※ Control Table's Compliance replaced by PID.
- ※ The control table's order for PID has changed to DIP from this version onwards. Please make reference of this change.
- ※ Although the MX-106T (TTL) and MX-106R (RS-485) differ in communications protocols both have the same features and perform equally. (TTL uses 3-pin connectors while RS-485 uses 4)

H/W Specification

- MCU : ST CORTEX-M3 (STM32F103C8 @ 72MHz, 32BIT)
- POSITION SENSOR : Contactless absolute encoder (12BIT, 360 DEGREE)
- MOTOR : Maxon
- BAUD RATE : 8000 bps ~ 4.5 Mbps
- CONTROL ALGORITHM : PID CONTROL
- Resolution : 0.088°
- Running Degree
 - 0° ~ 360°
 - Endless Turn
- Weight : 153g
- Dimension : 40.2mm x 65.1mm x 46mm
- Gear Reduction Ratio : 225 : 1
- Stall Torque
 - 8.0N.m (at 11.1V, 4.8A),
 - 8.4N.m (at 12V, 5.2A)
 - 10.0N.m (at 14.8V, 6.3A)
- No load speed
 - 41rpm (at 11.1V)
 - 45rpm (at 12V)
 - 55rpm (at 14.8V)

- Running Temperature : $-5^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$
- **Voltage : 10 ~ 14.8V (Recommended Voltage 12V)**
- Command Signal : Digital Packet
- Protocol Type
 - MX-106T (Half duplex Asynchronous Serial Communication (8bit,1stop, No Parity))
 - MX-106R (RS485 Asynchronous Serial Communication (8bit,1stop, No Parity))
- Link (Physical)
 - MX-106T (TTL Level Multi Drop Bus)
 - MX-106R (RS485 Multi Drop Bus)
- ID : 254 ID (0~253)
- Feedback : Position, Temperature, Load, Input Voltage, etc.
- Material : Full Metal Gear, Engineering Plastic Body
- Standby current : 100 mA



Precautions when connecting to power supply!

- For the stable power supply, we recommend using ROBOTIS controller or SMPS2Dynamixel.
- Connect your DYNAMIXEL to power supply while it's off and turn on/off with the power switch.

Control Table

Control Table consists of data regarding the current status and operation, which exists inside of Dynamixel. The user can control Dynamixel by changing data of Control Table via Instruction Packet.

EEPROM and RAM

Data in RAM area is reset to the initial value whenever the power is turned on while data in EEPROM area is kept once the value is set even if the power is turned off.

Address

It represents the location of data. To read from or write data to Control Table, the user should assign the correct address in the Instruction Packet.

Access

Dynamixel has two kinds of data: Read-only data, which is mainly used for sensing, and Read-and-Write data, which is used for

driving.

Initial Value

In case of data in the EEPROM Area, the initial values on the right side of the below Control Table are the factory default settings. In case of data in the RAM Area, the initial values on the right side of the above Control Tables are the ones when the power is turned on.

Highest/Lowest Byte

In the Control table, some data share the same name, but they are attached with (L) or (H) at the end of each name to distinguish the address. This data requires 16bit, but it is divided into 8bit each for the addresses (low) and (high). These two addresses should be written with one Instruction Packet at the same time.

Area	Address (Hexadecimal)	Name	Description	Access	Initial Value (Hexadecimal)
E E P R O M	0 (0X00)	Model Number(L)	Lowest byte of model number	R	64 (0X40)
	1 (0X01)	Model Number(H)	Highest byte of model number	R	1 (0X01)
	2 (0X02)	Version of Firmware	Information on the version of firmware	R	-
	3 (0X03)	ID	ID of Dynamixel	RW	1 (0X01)
	4 (0X04)	Baud Rate	Baud Rate of Dynamixel	RW	34 (0X22)
	5 (0X05)	Return Delay Time	Return Delay Time	RW	250 (0XFA)
	6 (0X06)	CW Angle Limit(L)	Lowest byte of clockwise Angle Limit	RW	0 (0X00)
	7 (0X07)	CW Angle Limit(H)	Highest byte of clockwise Angle Limit	RW	0 (0X00)
	8 (0X08)	CCW Angle Limit(L)	Lowest byte of counterclockwise Angle Limit	RW	255 (0XFF)
	9 (0X09)	CCW Angle Limit(H)	Highest byte of counterclockwise Angle Limit	RW	15 (0X0F)
	10 (0X0A)	Drive Mode	Dual Mode Setting	RW	0(0X00)
	11 (0X0B)	the Highest Limit Temperature	Internal Limit Temperature	RW	80 (0X50)
	12 (0X0C)	the Lowest Limit Voltage	Lowest Limit Voltage	RW	60 (0X3C)
	13 (0X0D)	the Highest Limit Voltage	Highest Limit Voltage	RW	160 (0XA0)
	14 (0X0E)	Max Torque(L)	Lowest byte of Max. Torque	RW	255 (0XFF)
	15 (0X0F)	Max Torque(H)	Highest byte of Max. Torque	RW	3 (0X03)
	16 (0X10)	Status Return Level	Status Return Level	RW	2 (0X02)
	17 (0X11)	Alarm LED	LED for Alarm	RW	36 (0X24)
	18 (0X12)	Alarm Shutdown	Shutdown for Alarm	RW	36 (0X24)
	20 (0X14)	Multi Turn Offset(L)	multi-turn offset least significant byte (LSB)	RW	0 (0X00)
	21 (0X12)	Multi Turn Offset(H)	multi-turn offset most significant byte (MSB)	RW	0 (0X00)
	22 (0X12)	Resolution Divider	Resolution divider	RW	1 (0X01)
R A M	24 (0X18)	Torque Enable	Torque On/Off	RW	0 (0X00)
	25 (0X19)	LED	LED On/Off	RW	0 (0X00)
	26 (0X1A)	D Gain	Derivative Gain	RW	0 (0X00)
	27 (0X1B)	I Gain	Integral Gain	RW	0 (0X00)
	28 (0X1C)	P Gain	Proportional Gain	RW	32 (0X20)
	30 (0X1E)	Goal Position(L)	Lowest byte of Goal Position	RW	-
	31 (0X1F)	Goal Position(H)	Highest byte of Goal Position	RW	-
	32 (0X20)	Moving Speed(L)	Lowest byte of Moving Speed	RW	-
	33 (0X21)	Moving Speed(H)	Highest byte of Moving Speed	RW	-
	34 (0X22)	Torque Limit(L)	Lowest byte of Torque Limit	RW	ADD14

35 (0X23)	Torque Limit(H)	Highest byte of Torque Limit	RW	ADD15
36 (0X24)	Present Position(L)	Lowest byte of Current Position	R	-
37 (0X25)	Present Position(H)	Highest byte of Current Position	R	-
38 (0X26)	Present Speed(L)	Lowest byte of Current Speed	R	-
39 (0X27)	Present Speed(H)	Highest byte of Current Speed	R	-
40 (0X28)	Present Load(L)	Lowest byte of Current Load	R	-
41 (0X29)	Present Load(H)	Highest byte of Current Load	R	-
42 (0X2A)	Present Voltage	Current Voltage	R	-
43 (0X2B)	Present Temperature	Current Temperature	R	-
44 (0X2C)	Registered	Means if instruction is registered	R	0 (0X00)
46 (0X2E)	Moving	Means if there is any movement	R	0 (0X00)
47 (0X2F)	Lock	Locking EEPROM	RW	0 (0X00)
48 (0X30)	Punch(L)	Lowest byte of Punch	RW	0 (0X00)
49 (0X31)	Punch(H)	Highest byte of Punch	RW	0 (0X00)
68 (0X44)	Current(L)	Lowest byte of Consuming Current	RW	0 (0X00)
69 (0X45)	Current(H)	Highest byte of Consuming Current	RW	0 (0X00)
70 (0X46)	Torque Control Mode Enable	Torque control mode on/off	RW	0 (0X00)
71 (0X47)	Goal Torque(L)	Lowest byte of goal torque value	RW	0 (0X00)
72 (0X48)	Goal Torque(H)	Highest byte of goal torque value	RW	0 (0X00)
73 (0X49)	Goal Acceleration	Goal Acceleration	RW	0 (0X00)

Address Function Help

EEPROM Area

Model Number

It represents the Model Number.

Firmware Version

It represents the firmware version.

ID

It is a unique number to identify Dynamixel.

The range from 0 to 252 (0xFC) can be used, and, especially, 254(0xFE) is used as the Broadcast ID.

If the Broadcast ID is used to transmit Instruction Packet, we can command to all Dynamixels.

Please be careful not to duplicate the ID of connected Dynamixel.

Baud Rate

It is the baud rate to communicate with controller. It is available in between 0~254(0xFE).

If the data value is in between 0~249 :

$$\text{Baudrate(BPS)} = 2000000 / (\text{Data} + 1)$$

Data	Set BPS	Target BPS	Tolerance
1	1000000.0	1000000.0	0.000 %
3	500000.0	500000.0	0.000 %

4	400000.0	400000.0	0.000 %
7	250000.0	250000.0	0.000 %
9	200000.0	200000.0	0.000 %
16	117647.1	115200.0	-2.124 %
34	57142.9	57600.0	0.794 %
103	19230.8	19200.0	-0.160 %
207	9615.4	9600.0	-0.160 %

If the data value is over the 250 :

Data	Set BPS	Target BPS	Tolerance
250	2250000.0	2250000.0	0.000 %
251	2500000.0	2500000.0	0.000 %
252	3000000.0	3000000.0	0.000 %

Note : Maximum Baud Rate error of 3% is within the tolerance of UART communication.

Return Delay Time

It is the delay time per data value that takes from the transmission of Instruction Packet until the return of Status Packet. 0 to 254 (0xFE) can be used, and the delay time per data value is 2 usec.

That is to say, if the data value is 10, 20 usec is delayed. The initial value is 250 (0xFA) (i.e., 0.5 msec).

CW/CCW Angle Limit

Sets allowable position values (angles) for Goal Position (address 30 & 31)

- CW Angle Limit: Goal Position(Address 30, 31) minimum value
- CCW Angle Limit: Goal Position(Address 30, 31) maximum value

The following sets 2 modes operation based on CW and CCW values

Operation Type	CW / CCW
Wheel Mode	both are 0
Joint Mode	neither at 0
Multi-turn Mode	both are 4095

Wheel mode allows the motor can have limitless revolutions.

Joint mode allows robot with multiple joints

Multi-turn mode allows joints have range of controllable position values from -28672 to 28672.

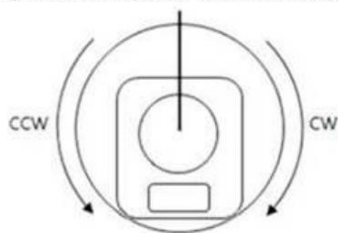
Multi Turn Offset

Adjusts position (zeroing). This value gets included in Present Position (36).

Present position + multi-turn offset.

Initial value is 0 and range is from -24576 to 24576

A Dynamixel with a position of 2048 with an applied offset of 1024 outputs a Present position of 3072.



1. Real Position = 2048
2. Multi Turn Offset = 1024
3. Present Position = 3072

Note: This feature is only applied in multi-turn mode and ignored in other modes.

Resolution Divider

It allows the user to change Dynamixel's resolution.

The default Resolution Divider Value is set as 1. (1 ~ 4 available)

When resolution is lowered, revolutions (in both directions) can be increased (up to 28 turns in each direction).

Present Position = Real Position / Resolution Divider

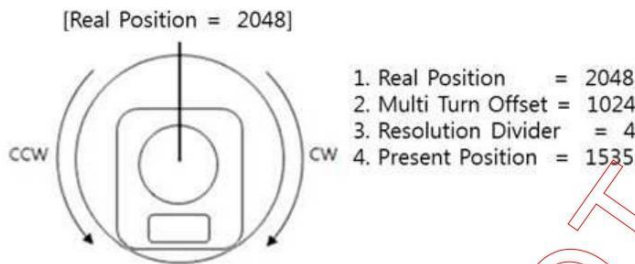
For example, a Real Position of 2048 with a Resolution Divider set as 2 will yield a Present Position value of 1024 ($2048/2 = 1024$). A

Dynamixel with Resolution Divider set as 2 will have a resolution 2048 for a single revolution.

The Present Position can be obtained while Multi-turn Offset and Resolution Divider are taken into account.

Present position = (Real Position / Resolution Divider) + Multi-turn Offset

For example, a Dynamixel with a Real Position of 2048 with a Resolution Divider set as 4 and Multi-turn Offset as 1024 will yield a Present Position of 1535 ($(2048/4) + 1024 = 1535$).



Note: This feature is only applied in multi-turn mode and ignored in other modes.

Drive Mode

Drive mode is set for Dynamixel.

Bit	Name	Contents
Bit 7	N/A	-
Bit 6	N/A	-
Bit 5	N/A	-
Bit 4	N/A	-
Bit 3	N/A	-
Bit 2	N/A	-
Bit 1	Master/Slave Mode	In case of 0: Master mode, In case of 1 : Slave mode
Bit 0	Normal/Reverse Mode	In case of 0: Normal mode, In case of 1: Reverse mode

- Master Mode
In case of being used as dual joints, it is set to designate as master.
- Slave Mode
In case of being used as dual joints, it is set to designate as slave.
- General Mode
Sets the direction of rotation to set direction.
Reads normal data values from position.
- Reverse Mode
Sets the direction of rotation opposite to set direction.
Reads inverse data values from position.

Notes : Reverse mode is to change the actual rotation direction reversely. It can be used conveniently when the robot with symmetrical joints layout is built.

Dual Joints

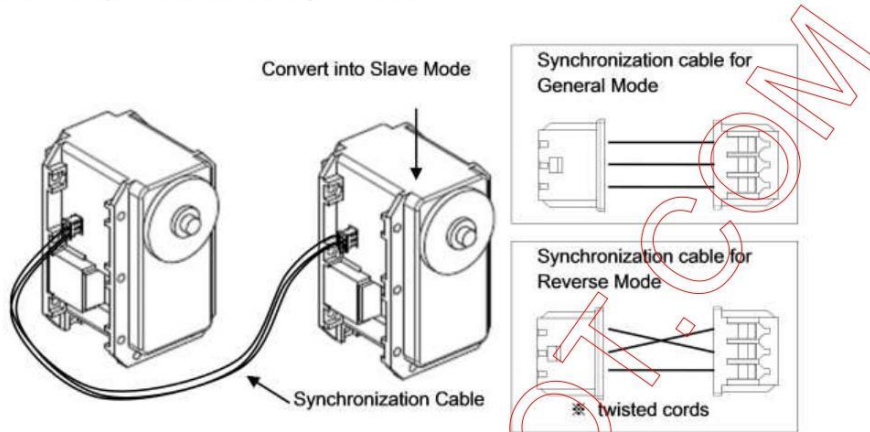
Dual joints are used as 1 joint by controlling 2 motors simultaneously.

To use the dual joints, 1 unit of motor set in master mode and 1 unit of motor set in slave mode are needed.

Next, the motors must be connected to each other using synchronization cable.

Normal mode synch cable: Drives Master and PWM signals synchronized

Reverse mode synch cable: Drives PWM signals in reverse.

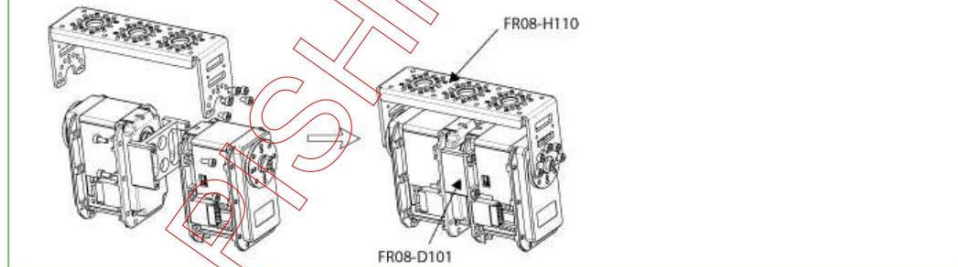


Notes : Slave is synchronized by directly receiving the control command through synchronization cable from Master. Slave Mode unit responds to communication through command packets, but data related to motor drive are processed only through the synchronization.

For reference: in a dual master-slave configuration position information from the slave is ignored and the position of the dual configuration is based on the master in PWM control.

When master and slave are not physically connected there is a slight difference on the driven load.

Use the frames shown below to achieve dual configuration



The Highest Limit Temperature

Caution : Do not set the temperature lower/higher than the default value.

When the temperature alarm shutdown occurs, wait 20 minutes to cool the temperature before re-use.

Using the product when the temperature is high may and can cause damage.

The Lowest (Highest) Limit Voltage

It is the operation range of voltage.

50 to 250 (0x32 ~ 0x96) can be used. The unit is 0.1V.

For example, if the value is 80, it is 8V.

If Present Voltage (Address42) is out of the range, Voltage Range Error Bit (Bit0) of Status Packet is returned as '1' and Alarm is triggered as set in the addresses 17 and 18.

Max Torque

It is the torque value of maximum output. 0 to 1023 (0x3FF) can be used, and the unit is about 0.1%.

For example, Data 1023 (0x3FF) means that Dynamixel will use 100% of the maximum torque it can produce while Data 512 (0x200) means that Dynamixel will use 50% of the maximum torque. When the power is turned on, Torque Limit (Addresses 34 and 35) uses the value as the initial value.

Status Return Level

It decides how to return Status Packet. There are three ways like the below table.

Value	Return of Status Packet
0	No return against all commands (Except PING Command)
1	Return only for the READ command
2	Return for all commands

When Instruction Packet is Broadcast ID, Status Packet is not returned regardless of Status Return Level.

Alarm LED

Alarm Shutdown

Dynamixel can protect itself by detecting errors occur during the operation.

The errors can be set are as the table below.

Bit	Name	Contents
Bit 7	0	-
Bit 6	Instruction Error	When undefined Instruction is transmitted or the Action command is delivered without the reg_write command
Bit 5	Overload Error	When the current load cannot be controlled with the set maximum torque
Bit 4	CheckSum Error	When the Checksum of the transmitted Instruction Packet is invalid
Bit 3	Range Error	When the command is given beyond the range of usage
Bit 2	OverHeating Error	When the internal temperature is out of the range of operating temperature set in the Control Table
Bit 1	Angle Limit Error	When Goal Position is written with the value that is not between CW Angle Limit and CCW Angle Limit
Bit 0	Input Voltage Error	When the applied voltage is out of the range of operating voltage set in the Control Table

It is possible to make duplicate set since the function of each bit is run by the logic of 'OR'. That is, if 0X05 (binary 00000101) is set, both Input Voltage Error and Overheating Error can be detected.

If errors occur, in case of Alarm LED, the LED blinks: in case of Alarm Shutdown, the motor output becomes 0 % by making the value of Torque Limit(Address 34, 35) as 0.

RAM Area

Torque Enable

Value	Meaning
0	Keeps Torque from generating by interrupting the power of motor.
1	Generates Torque by impressing the power to the motor.

LED

Bit	Meaning	Meaning
bit7		
bit6		
bit5		
bit4		
bit3		
bit2	BLUE LED	When <i>Bit</i> is set the blue LED turns on
bit1	GREEN LED	When <i>Bit</i> is set the green LED turns on
bit0	RED LED	When <i>Bit</i> is set the red LED turns on

PID Gain

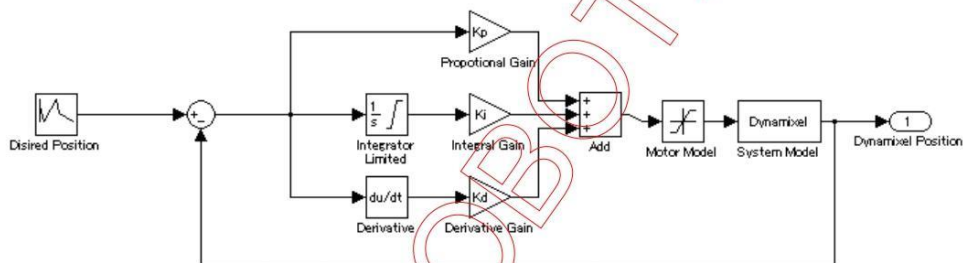
MX series will use the PID controller as a main control method.

P gain refers to the value of proportional band.

I gain refers to the value of integral action.

D Gain refers to the value of derivative action.

Gains values are in between 0~254.



$$K_p = \text{P Gain} / 8$$

$$K_i = \text{I Gain} * 1000 / 2048$$

$$K_d = \text{D Gain} * 4 / 1000$$

* The relationship between Compliance Slope and PID

Slope	P Gain
8	128
16	64
32	32
64	16
128	8

The less the P gain, The larger the back lash, and the weaker the amount of output near goal position.

At some extent, it is like a combined concept of margine and slope.

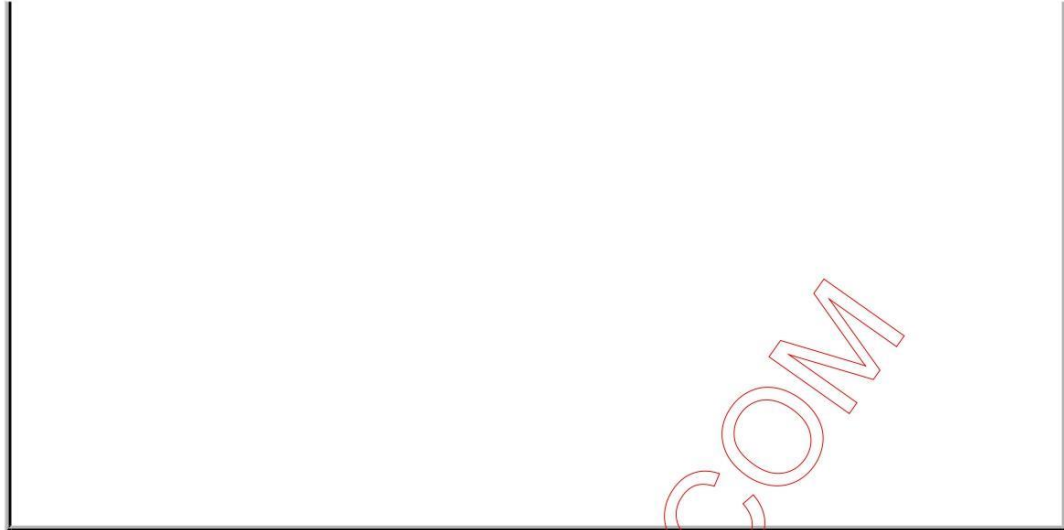
It does not exactly match the previous concept of compliance. So it is obvious if you see the difference in terms of motion.

* Explanation for PID required.

For the brief explanation about general PID, please refer to the website(link) below.

http://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller

FYI, PID control theory is not only limited to the control of motor(actuator) but is a generic theory that can be applied to all kinds of control.

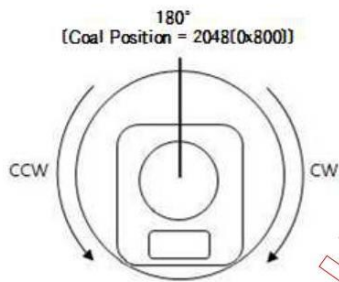


Goal Position

It is a position value of destination.

0 to 4095 (0xFFF) is available. The unit is 0.088 degree.

If Goal Position is out of the range, Angle Limit Error Bit (Bit1) of Status Packet is returned as '1' and Alarm is triggered as set in Alarm LED/Shutdown.



Moving Speed

- Join Mode, Multi-Turn mode

It is a moving speed to Goal Position.

0~1023 (0X3FF) can be used, and the unit is about 0.114rpm.

If it is set to 0, it means the maximum rpm of the motor is used without controlling the speed.

If it is 1023, it is about 117.07rpm.

For example, if it is set to 300, it is about 34.33 rpm.

- Wheel Mode

It is a moving speed to Goal direction.

0~2047 (0X7FF) can be used, and the unit is about 0.114rpm.

If a value in the range of 0~1023 is used, it is stopped by setting to 0 while rotating to CCW direction.

If a value in the range of 1024~2047 is used, it is stopped by setting to 1024 while rotating to CW direction.

That is, the 10th bit becomes the direction bit to control the direction.

Note: This mode allows to check max rpm. Any values set higher than max rpm will not take effect.

Torque Limit

It is the value of the maximum torque limit.

0 to 1023 (0x3FF) is available, and the unit is about 0.1%.

For example, if the value is 512, it is about 50%; that means only 50% of the maximum torque will be used.

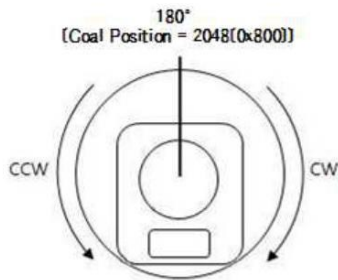
If the power is turned on, the value of Max Torque (Address 14, 15) is used as the initial value.

Notes: If the function of Alarm Shutdown is triggered, the motor loses its torque because the value becomes 0. At this moment, if the value is changed to the value other than 0, the motor can be used again.

Present Position

It is the current position value of Dynamixel.

The range of the value is 0~4095 (0xFFF), and the unit is 0.088 degree.



In multi-turn mode range is from -28672 to 28672 with unit values dependent on Resolution Divider (0.088 * Resolution Divider)

Note: in multi-turn mode Present position depends on resolution divider and multi-turn offset For more information turn to the section on Multi Turn offset and Resolution Divider

Present Speed

Is the current moving speed.

0~2047 (0x000~0X7FF) can be used.

If a value is in the rage of 0~1023 then the motor rotates to the CCW direction.

If a value is in the rage of 1024~2047 then the motor rotates to the CW direction.

The 10th bit becomes the direction bit to control the direction; 0 and 1024 are equal.

The value unit is about 0.11rpm.

For example, if it is set to 300 then the motor is moving to the CCW direction at a rate of about 34.33rpm.

Present Load

It means currently applied load.

The range of the value is 0~2047, and the unit is about 0.1%.

If the value is 0~1023, it means the load works to the CCW direction.

If the value is 1024~2047, it means the load works to the CW direction.

That is, the 10th bit becomes the direction bit to control the direction, and 1024 is equal to 0.

For example, the value is 512, it means the load is detected in the direction of CCW about 50% of the maximum torque.

BIT	15~11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Value	0	Load Direction	Data (Load Ratio)									

Load Direction = 0 : CCW Load, Load Direction = 1: CW Load

Notes: Current load is inferred from the internal torque value, not from Torque sensor etc.
 For that reason, it cannot be used to measure weight or torque; however, it must be used only to detect which direction the force works.

Present Voltage

It is the size of the current voltage supplied.

This value is 10 times larger than the actual voltage. For example, when 10V is supplied, the data value is 100 (0x64)

Present Temperature

It is the internal temperature of Dynamixel in Celsius.

Data value is identical to the actual temperature in Celsius. For example, if the data value is 85 (0x55), the current internal temperature is 85°C.

Registered Instruction

Value	Meaning
0	There are no commands transmitted by REG_WRITE
1	There are commands transmitted by REG_WRITE.

Notes: If ACTION command is executed, the value is changed into 0.

Moving

Value	Meaning
0	Goal position command execution is completed.
1	Goal position command execution is in progress.

Lock

Value	Meaning
0	EEPROM area can be modified.
1	EEPROM area cannot be modified.

Caution: If Lock is set to 1, the power must be turned off and then turned on again to change into 0.

Punch

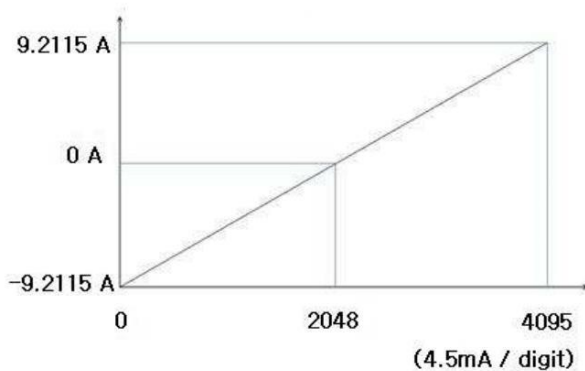
Current to drive motor is at minimum.
 Can choose vales from 0x00 to 0x3FE

Current

Value at 2048(0x800) when current is consumption is idle.
 Values higher than 2048(0x800) during positive current flow
 Values lower than 2048(0x800) during negative current flow
 The following is a method to calculate current flow

$$I = (4.5mA) * (CURRENT - 2048) \text{ in amps unit (A).}$$

For example, 68 gives a value of 2148, which corresponds to 450mA of current flow.



Torque Control Mode Enable

Value	Meaning
0	Turn off the torque mode. Executes Joint mode or Wheel mode.
1	Turn on the torque mode. Cannot control the position or moving speed but only Torque.

When Torque Control Mode Enable is at 1, DYNAMIXEL behaves like the followings

1. DYNAMIXEL does not control the position or the moving speed.
2. DYNAMIXEL controls with goal torque value.
3. DYNAMIXEL does not react to whatever value in Goal position and Goal speed.
4. Because position/moving speed is not controller, DYNAMIXEL behaves as if it is in the wheel mode.

Goal Torque

These are the goal torque value

You can use 0 ~ 2047 (0x7FF), and the unit is 4.5mA.

(torque is directly proportional to the current value.)

If you use from 0~1023, torque is on toward CCW, and when you set it to 0, it stops.

If you use from 1024~2047, torque is on toward CW, and when you set it to 1024, it stops.

That means, 10th bit becomes the direction bit, which controls direction.

Goal Torque cannot be bigger than Torque Limit(34.35)

Goal Acceleration

This is Goal Acceleration value.

It can be used from 0~254(0xFE), and the unit is approximately 8.583 Degree / sec².

When it is set to 0, there is no control over acceleration and moves with the maximum acceleration of the motor.

When the goal speed is set to 0, there is no control over acceleration and moves with the maximum acceleration of the motor.

When it is set to 254, it becomes 2180 Degree / sec²

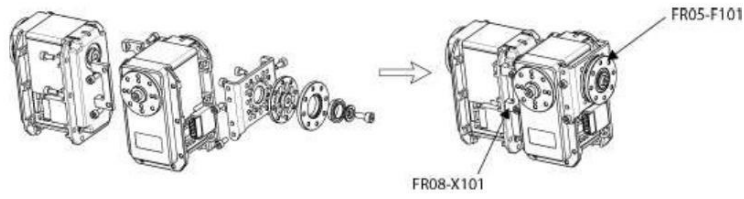
For example, the current speed of Dynamixel is 0, and Goal acceleration is 10,

The speed of Dynamixel after 1 second will be 14.3 RPM.

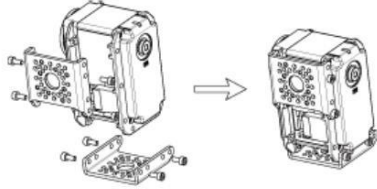
Option Frame

The types of MX-106 option frame are as follows.

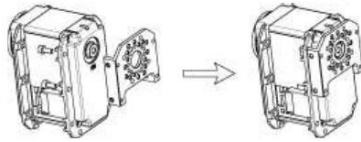
FR05-F101_FR08-X101



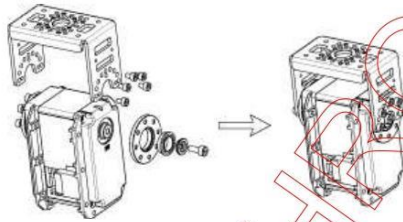
FR05-S101



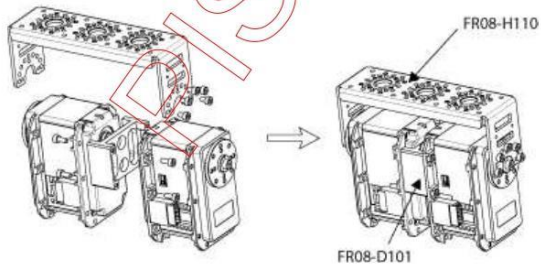
FR08-B101



FR08-H101

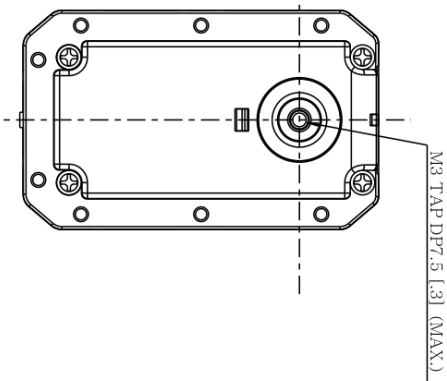
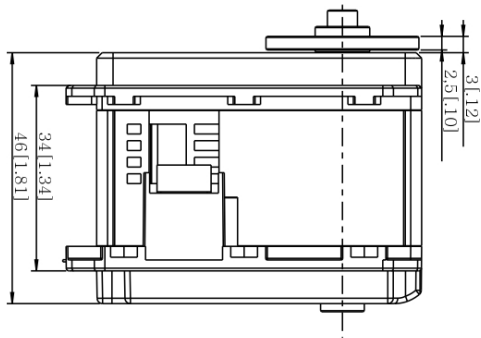
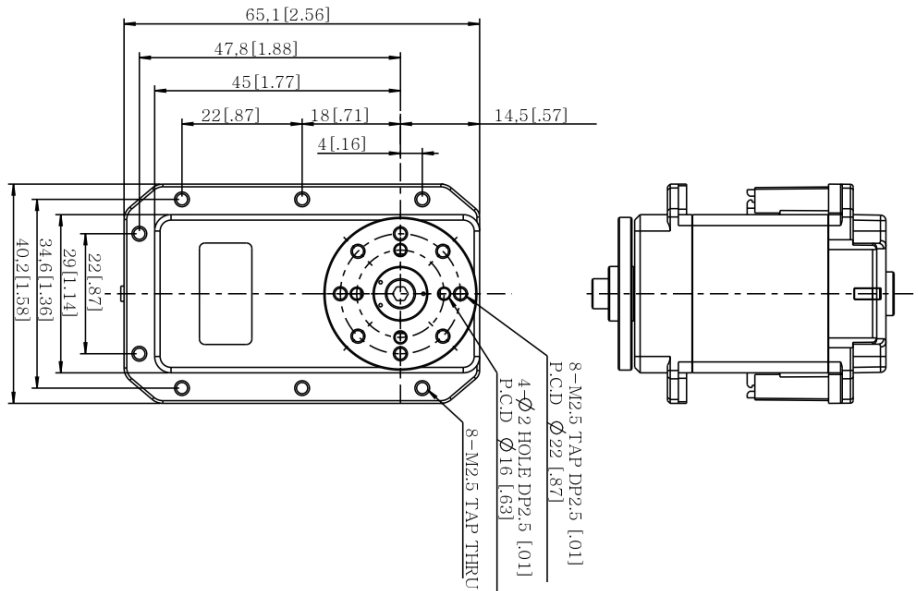


FR08-H110_FR08-D101



Horn

The types of EX-106+ Horn are as follows.



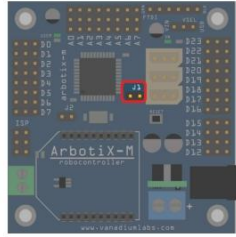
[FOR REFERENCE ONLY]

Part	Material	Scale	Unit	Sheet	ROBOITS
MIN-108T			mm	1 of 3	
Rev					
04/26/2012					

Anexo 23: Driver para servomotor Arbotix-M

15/9/2021

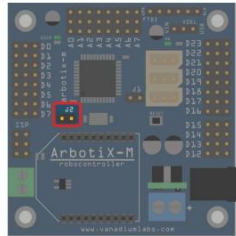
Arbotix-M Hardware Overview



Reset Jumper(J2)

This jumper connects the reset pin on the ATMEGA466P to the reset button and the FTDI port. This allows the Arduino IDE to reset the ATMEGA chip for programming.

The pin to the left is tied to the FTDI port through a capacitor. The pin to the right is tied to the RESET pin on the ATMEGA466P



Looking for the Arbotix Hardware overview? [Click here](#)

Search ...

Attributions

ArbotiX-M Hardware Overview

ArbotiX-M Schematic

Click on the links to learn about the Arbotix-M's hardware capabilities.

DC Power Jack

There are two DC jacks that you can use to power your ArbotiX. Both of these jacks are electrically equivalent, so you may power your ArbotiX through either jack.

1) The blue screw-terminal port will accept two wires - the ground-wire will be on the left screw terminal and the positive-voltage-wire will be on the right (as indicated by the \oplus symbol)

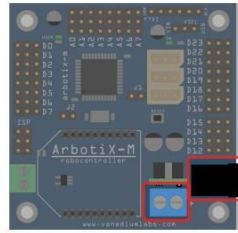
2) The black barrel jack will accept a standard 2.1*5.5mm DC jack. This can be very convenient for plugging in SMPS power supplies to your ArbotiX M.

The power that is fed through these jacks will power:

- 1) Any DYNAMIXEL servos connected to the ArbotiX M
- 2) The on board power regulator (which will in turn supply a regulated 5v to the rest of the board)

The ArbotiX-M will work with input voltages from 7-30V, but is most commonly used at 11-12V, as most DYNAMIXELS work safely at this voltage.

[Learn more about powering the ArbotiX here](#)

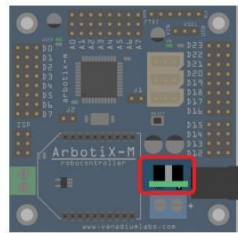


Regulator

The 5V regulator will step down the input voltage from VIN to 5V for the ATMEGA644p and most attached sensors and devices. It is normal for the regulator to get hot to the touch.

The regulator on the

- ArbotiX-M can work with inputs from 7v to 30v. On the output side, the regulator can supply 1.5A at 5V.
- Regulator
- Power Selection Jumper
- Power LED
- Reset Button



<https://learn.trossenrobotics.com/robotix/robotix-getting-started/38-arbotix-m-hardware-overview>

1/10

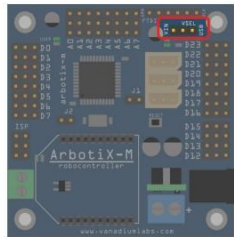
- [FTDI Serial Over USB powering the Arbotix here](#)
- ISP Programming Port
- Digital I/O Headers
- Hobby Servo Digital I/O Headers
- User LED
- Analog Input Headers
- 3x 3-Pin DYNAMIXEL Ports (TTL)
- XBee Socket
- IIC Pins
- Serial Jumper (J1)
- Reset Jumper (J2)

Power Selection Jumper

The Power Selection Jumper will allow you to choose how to power the Arbotix's microcontroller circuitry.

Connecting the jumper between the middle pin and 'VIN' pin will power the microcontroller from the 5v regulator, which is in turn powered through the main DC power terminal/jack.

By connecting the jumper between the middle pin and the 'USB' Pin, the microcontroller will be powered from the 5v supply from the FTDI cable - in most cases this is 5v from your computer's USB connector. The voltage regulator/DC Jacks will be bypassed.

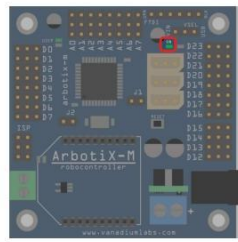


Power ATMEGA644p through VIN through regulator	Power ATMEGA644p through USB/FTDI
	

[Learn more about powering the Arbotix here](#)

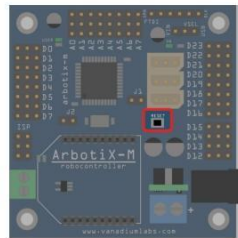
Power LED

This LED will turn on when the ATMEGA644 is receiving 5v power, either through USB or the regulator. .



Reset Button

This Button will reset the ArbotiX and restart the loaded program.



FTDI Serial Port / Programming Port

The FTDI port is a dual programming and serial port. By connecting an FTDI device (like a FTDI Cable or a UartSBe) you can program the ArbotiX and relay serial communications.

15/9/2021

ArbotiX-M Hardware Overview

This port also allows the connected computer to reset the ArbotiX board. This is useful when programming or beginning communication with the ArbotiX. To disable this behavior, remove the 'J2' jumper.

▲NOTE-The FTDI port and the XBee socket share a serial port, so only one can be used at a time. To program the ArbotiX while an XBee is connected, you must use an ISP programmer.

🔗[Learn more about programming the ArbotiX here](#)

Green - RTS/Reset
Yellow - TX / ArbotiX Transmit
Orange - RX / ArbotiX Receive
Red - VCC / 5v
Brown - CTS / *Tied to Ground
Black - GND/Ground

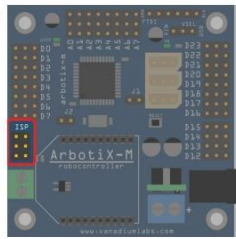
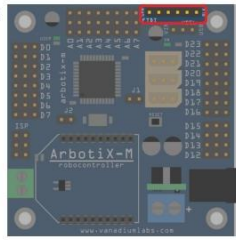


ISP Programming Port

The ISP (In System Programmer) port is a secondary way of programming the ArbotiX. The main advantage of using the ISP port over the FTDI port is that it does not require a serial connection. This means you can leave your XBee plugged in while you program your ArbotiX. The disadvantage is that you cannot send or receive serial communications via the ISP port.

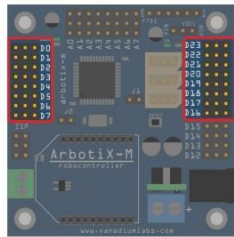
-The ArbotiX can only be programmed via FTDI if the ATMEGA644p has a Bootloader on it. All ArbotiX units ship with a bootloader, but programming via an ISP programmer will overwrite the bootloader.

🔗[Learn more about programming the ArbotiX here](#)



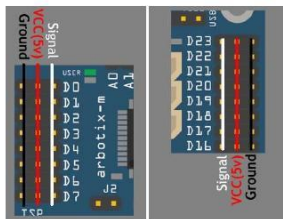
Standard Digital I/O Headers

The Digital I/O headers give you easy access to the ArbotiX's digital pins. Each header has a Signal-Voltage-Ground configuration, making them plug and play compatible with many sensors like RobotGeek and Phidgets Sensors.



Digital Pins **D3** and **D4** are PWM pins and usable with the **analogWrite** function.

The headers on Digital Pins **D0-D7** and **D16-D23** are supplied 5v from the 5v power bus.

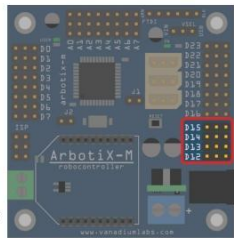


Tip: The signal pin is always the pin closest to the ATMEGA644p processor, and the ground pin is always the one closest to the outer edge of the board.

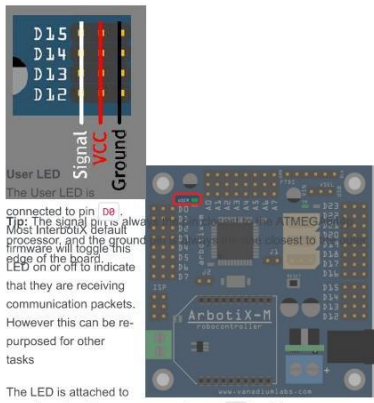
Hobby Servo Digital I/O Headers

Digital I/O pins **D12-D15** are very similar to the other digital pins - their 'signal' pin is tied directly to the ATMEGA644p and they use the same 3-pin headers.

However these pins are not powered from the 5v power bus. Instead, these pins are powered by the green screw-terminal jack on the left of the board.



In addition to having a separate power bus, these 4 Digital I/O ports are PWM enabled. This means that these 4 ports are ideal for controlling hobby servos. You can easily plug in a separate power supply that is appropriate for your hobby servos, making it easy to mix DYNAMIXEL and Hobby Servos



User LED
The User LED is connected to pin D0. Most Interbotix default firmware will toggle this LED on or off to indicate that they are receiving communication packets. However this can be re-purposed for other tasks.

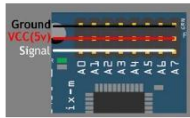
The LED is attached to an external resistor, so you can also use D0 for other purposes.

Analog Input Headers
The Analog Output headers give you easy access to the ArbotiX's 8 analog pins. Each header has a Signal-Voltage-Ground configuration, making them plug and play compatible with many sensors like RobotGeek and Phidgets Sensors.



Analog pins double as Digital I/O pins. You can access them in the Arduino IDE by addressing digital pins 24-31 to access analog pins A0-A7.

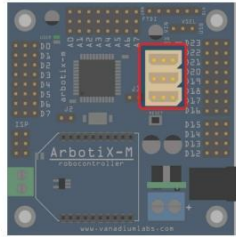
Analog Pin	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Digital Pin	24	25	26	27	28	29	30	31



Tip: The signal pin is always the pin closest to the ATMEGA644p processor, and the ground pin is always the one closest to the outer edge of the board.

3x 3-Pin DYNAMIXEL Ports (TTL)

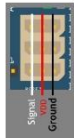
These 3 ports will allow you to Plug DYNAMIXEL servos directly into the ArbotiX. DYNAMIXEL servos can be daisy-chained, or you can add a AX/MX Power Hub to expand your ports even more. Because all the DYNAMIXEL servos will be on the same serial port, all 3 ports on the ArbotiX are electrically identical.



▲ NOTE: These ports are only compatible with 3-Pin TTL DYNAMIXEL servos. The following servos will work with the ArbotiX-M

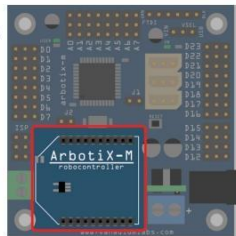
- AX-12A
- AX-18A
- AX-12W
- MX-28T
- MX-64T
- MX-106T

A 4-pin RS-485 bridge will be available in the future.



XBee Socket

The XBee socket allows you to quickly add wireless communications to your ArbotiX by plugging in an XBee. The XBee will create a wireless serial connection, allowing you to easily connect the ArbotiX to another microcontroller or a computer through a second XBee module.



▲ Note: The XBee socket shares a serial port with the FTDI port, so only one of those can be used at a time.

15/9/2021

ArbotiX-M Hardware Overview

⚠ NOTE: The ArbotiX Robocontroller is not compatible with XBee pros.

🔗 [Learn more about configuring and working with XBees here](#)

IIC/I2C/I²C Pins

The ArbotiX M does not have a dedicated IIC port, but it still supports the IIC protocol on pins 16 and 17.



IIC Pin	ArbotiX-M Pin
SCL	16
SDA	17

Serial Jumper(J1) This jumper ties the TX and RX pins together for the serial port assigned to the DYNAMIXEL bus. These lines need to be tied together to ensure proper communication with the DYNAMIXEL servos.

For normal operation, this header should be set at all times. However if you need to use this serial port for other purposes, you can access the TX and RX lines through this port. The RX pin is the pin to the left (ATMEGA644P pin 11) and the TX pin is the pin to the right(ATMEGA466P pin 12).

<https://learn.trossenrobotics.com/robotix/robotix-getting-started/38-robotix-m-hardware-overview>

8/10

Anexo 24: Algoritmo de la cinemática inversa MATLAB

15/09/21 1:37 C:\Users\diosf\Downloads\AreaTrabajo.m 1 of 2

```
%.....CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL ROBOT.....
OA=150;
l1=250;
GD=50;
l2=335;

%.....CARACTERISTICAS DEL ANALISIS.....
h = 15;
i = 1;
j = 3;
coor = [0 0 0];

for X = -500:h:500
    for Y = -500:h:500
        for Z = -700:h:0
            pxyz = [X Y Z 1];

            %.....TETA1.....
            x0 = pxyz(1);
            y0 = pxyz(2);
            z0 = pxyz(3);

            l2_prima = sqrt(((l2).^2)-((x0).^2));
            T=OA+y0-GD;
            K= ((l2_prima).^2)-((x0).^2)-((T.^2))-((l1).^2)-((z0).^2);
            %////////
            e1= (2*T*l1)+K;
            e2= -4*z0*l1;
            e3= (-2*T*l1)+K;
            %////////
            teta1=(2*atand((-e2-sqrt((e2).^2-(4*e1*e3)))/(2*e1)));

            %.....TETA2.....
            a = 120; %angulo a rotar
            T = [cosd(a) -sind(a) 0 0;...
                sind(a) cosd(a) 0 0;...
                0 0 1 0;...
                0 0 0 1]; %determinamos la MTH con un roll de a
            puvw = T*pxyz.'; %nuevas cordenadas
            x0 = puvw(1);
            y0 = puvw(2);
            z0 = puvw(3);

            l2_prima = sqrt(((l2).^2)-((x0).^2));
            T=OA+y0-GD;
            K= ((l2_prima).^2)-((x0).^2)-((T.^2))-((l1).^2)-((z0).^2);
            %////////
            e1= (2*T*l1)+K;
            e2= -4*z0*l1;
            e3= (-2*T*l1)+K;
```

```

%////////
teta2=(2*atand((-e2-sqrt((e2).^2-(4*e1*e3)))/(2*e1)));

%.....TETA3.....
a = -120; %angulo a rotar
T = [cosd(a) -sind(a) 0 0;...
     sind(a) cosd(a) 0 0;...
     0 0 1 0;...
     0 0 0 1]; %determinamos la MTH con un roll de a
puvw = T*pxyz.'; %nuevas cordenadas
x0 = puvw(1);
y0 = puvw(2);
z0 = puvw(3);

l2_prima = sqrt(((l2).^2)-((x0).^2));
T=OA+y0-GD;
K= ((l2_prima).^2)-((x0).^2)-((T.^2))-((l1).^2)-((z0).^2);
%////////
e1= (2*T*l1)+K;
e2= -4*z0*l1;
e3= (-2*T*l1)+K;
%////////
teta3=(2*atand((-e2-sqrt((e2).^2-(4*e1*e3)))/(2*e1)));

if (isreal(tetal) == 1 && isreal(teta2) == 1 && isreal(teta3) == 1)
    i = i + 1;
    coor(i,:) = [X Y Z];
%     figure(f1)
%     plot3(X,Y,Z, '.', 'Color', 'r')
%     axis equal
%     grid on
end
end
end
end

f1 = figure
xdata = coor(:,1);
ydata = coor(:,2);
zdata = coor(:,3);
plot3(xdata,ydata,zdata, '.', 'Color', 'b');
axis equal
grid on

```

Anexo 25: Algoritmo de la dinámica MATLAB

15/09/21 1:37 C:\Users\diosf\Desktop\Tesis\...\dinamica.m 1 of 2

```
syms Xn Yn Zn...      %Punto final del efector
    LA LB R ...      %Caracteristicas geometricas del robot
    q1 q2 q3 ...      %Posicion de los actuadores
    Im ...            %Inercia del motor
    mbr mc mab...     %Masas de los componentes
    mn mpl...        %Masas del plato y payload
    X_n Y_n Z_n...    %Velocidades del efector
    q_1 q_2 q_3...    %Velocidades de los actuadores
    q__1 q__2 q__3... %Aceleraciones de los actuadores
    g                 %Gravedad

mb = mbr + mc +(2/3)*(mab)

RR1 = [cos(0) -sin(0) 0;...
       sin(0) cos(0) 0;...
       0 0 1];

RR2 = [cos(2.0944) -sin(2.0944) 0;...
       sin(2.0944) cos(2.0944) 0;...
       0 0 1];

RR3 = [cos(4.1888) -sin(4.1888) 0;...
       sin(4.1888) cos(4.1888) 0;...
       0 0 1];

S1 = [Xn Yn Zn].' - RR1*([R 0 0].'+[LA*cos(q1) 0 -LA*sin(q1)].');
S2 = [Xn Yn Zn].' - RR2*([R 0 0].'+[LA*cos(q2) 0 -LA*sin(q2)].');
S3 = [Xn Yn Zn].' - RR3*([R 0 0].'+[LA*cos(q3) 0 -LA*sin(q3)].');
x = [S1.'; S2.'; S3.'];

Ibr = LA.^2)*((mbr)/(3)+mc+(2/3)*mab);

[Ib1 Ib2 Ib3] = deal(Im + Ibr);

Ib = [Ib1 0 0; 0 Ib2 0; 0 0 Ib3];

mnt = mn + mpl + 3*(1-(2/3))*mab;

S_1 = [X_n Y_n Z_n].' + RR1*([R 0 0].'+[LA*sin(q1) 0 -LA*cos(q1)].')*q_1; %Es s1 puntito
S_2 = [X_n Y_n Z_n].' + RR2*([R 0 0].'+[LA*sin(q2) 0 -LA*cos(q2)].')*q_2;
S_3 = [X_n Y_n Z_n].' + RR3*([R 0 0].'+[LA*sin(q3) 0 -LA*cos(q3)].')*q_3;
```

```
b1 = RR1 * [LA*sin(q1); 0; LA*cos(q1)];
b2 = RR2 * [LA*sin(q2); 0; LA*cos(q2)];
b3 = RR3 * [LA*sin(q3); 0; LA*cos(q3)];

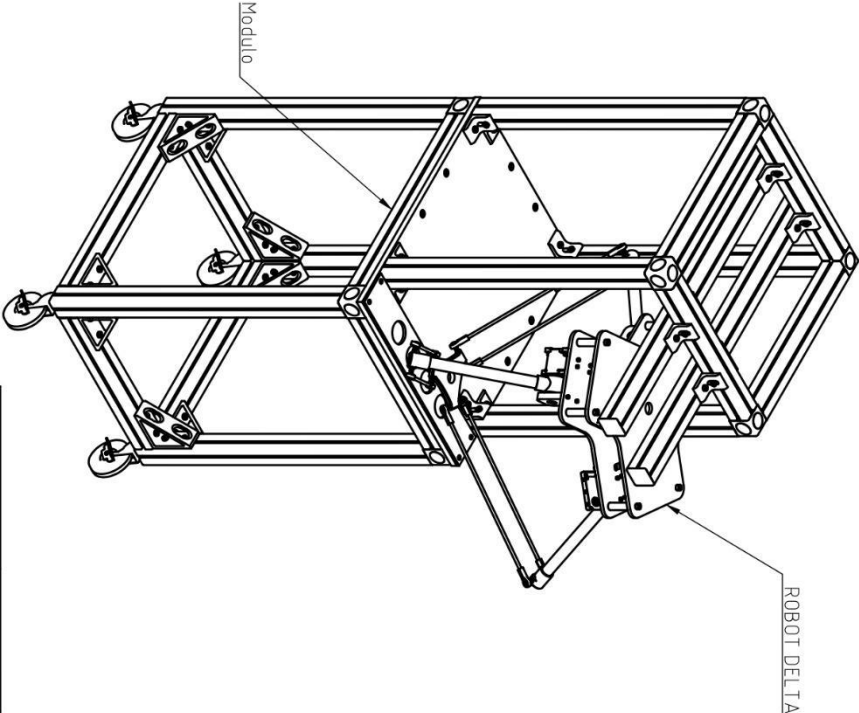
J = -inv(x)*[S1.*b1 0 0; 0 S2.*b2 0; 0 0 S3.*b3];


b_1 = RR1 * [LA*sin(q1); 0; LA*cos(q1)]*q_1;
b_2 = RR2 * [LA*sin(q2); 0; LA*cos(q2)]*q_2;
b_3 = RR3 * [LA*sin(q3); 0; LA*cos(q3)]*q_3;

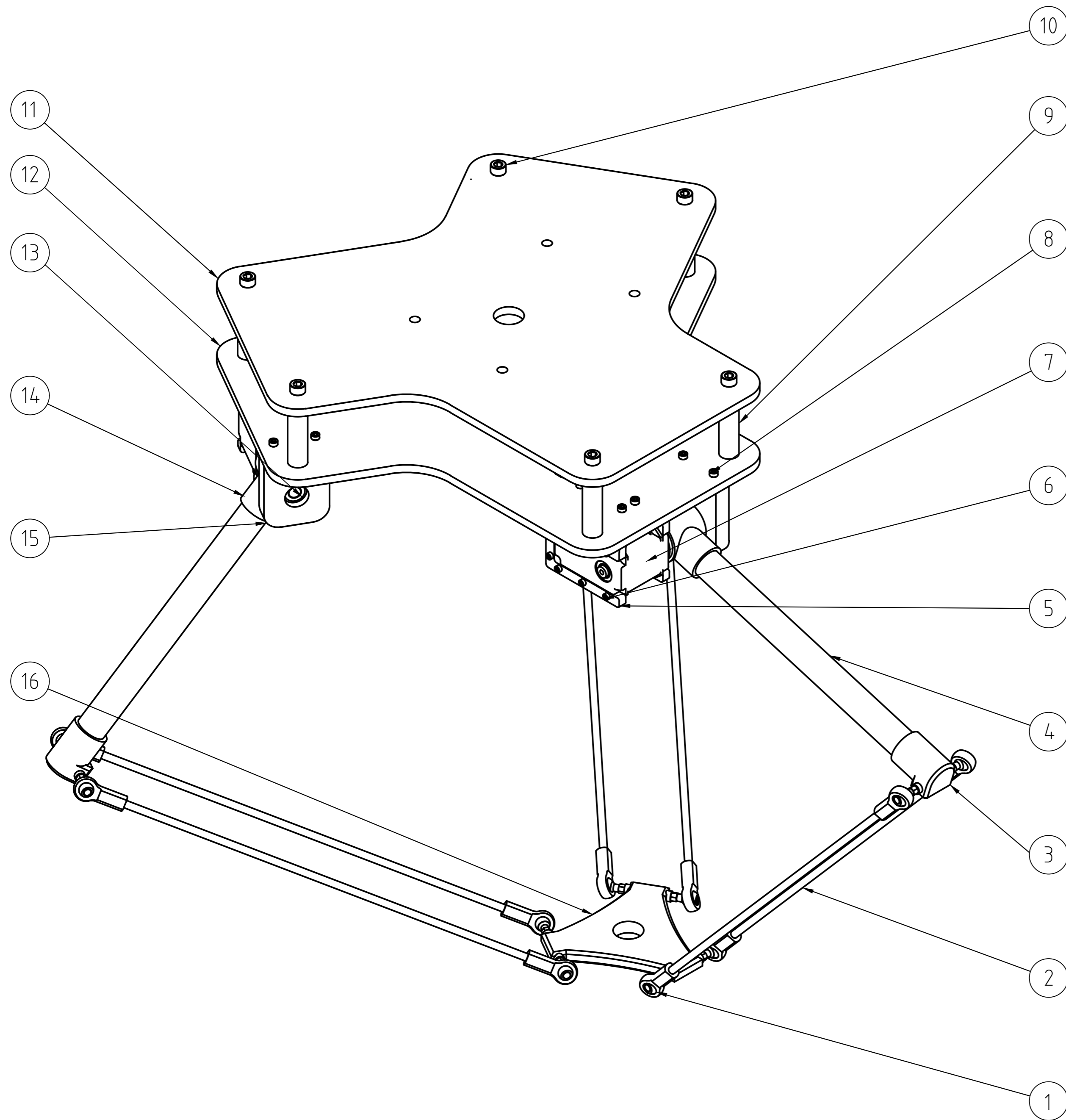
K = [transpose(S_1)*b1+transpose(S1)*b_1 0 0; 0 transpose(S_2)*b2+transpose(S2)*b_2 0; 0
0 transpose(S_3)*b3+transpose(S3)*b_3]
J_ = [S_1.'; S_2.'; S_3.']*J+K
Gn = mnt * [0 0 -g].'
rGb = (LA)*((1/2)*(mbr)+mc+(2/3)*(mab))/mb
TGb = mb*rGb*g*[cos(q1) cos(q2) cos(q3)].'

T = (Ib+mnt*J.*J)*[q__1; q__2; q__3] + J.*mnt*J_*[q_1; q_2; q_3] - J.*Gn - TGb
```

Anexo 26: Planos del robot Delta



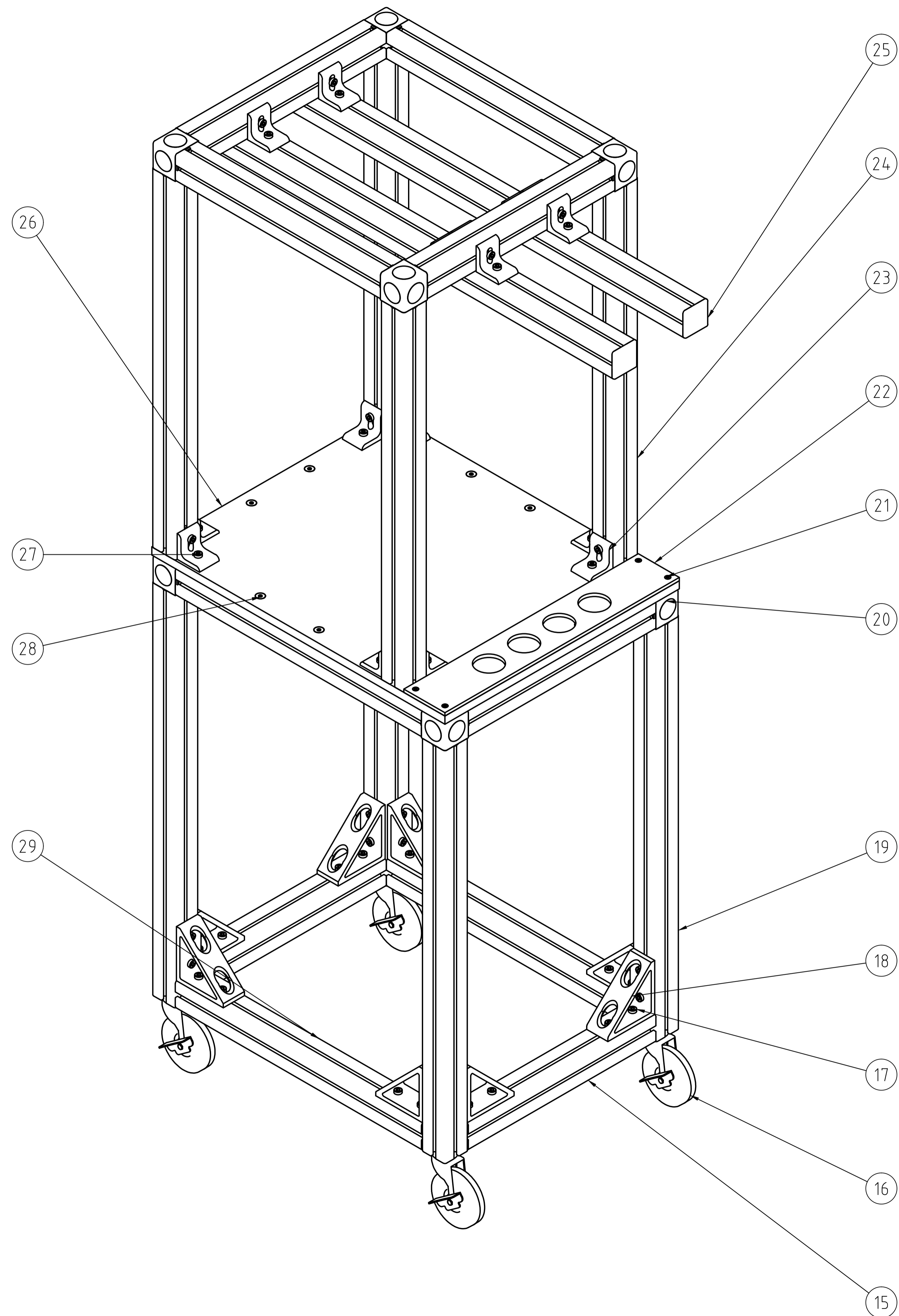
Decimo ciclo	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA
Dibujado: 27/08/21	Fajardo & Montalvan	Ing. Luis López	
Comprobado: 30/09/15	Trabajo de titulación		INGENIERIAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica
Escala: Tol. gen. ISO 1:7		Representación del robot delta modular	
Láminas: 1 ROBOT DELTA MODULAR			




Lista de piezas

Elemento	Ctd.	Nombre de la pieza	Especificaciones	Material
1	12	Junta esferica con vastago hembra y tornillo 60745K811		Aleación de acero
2	6	Antebrazo		Aluminio
3	3	Union de bicep a antebrazo		Aluminio
4	3	Bicep		Aluminio
5	3	Soporte de servo		Aluminio
6	48	Perno M2.5 x 0.45 mm, longitud de 10 mm con tornillo M2.5		Aleación de acero
7	3	Servomotor MX-106T		
8	18	Perno M3 x 0.5 mm con longitud de 15mm		Aleación de acero
9	6	Espaciador M6 x 50mm		Aluminio
10	6	Perno M6 x 1 mm, longitud de 70 mm con tornillo M6		Aleacion de acero
11	1	Plataforma de sujeción		Aluminio
12	1	Plataforma superior		Aluminio
13	3	Rodamiento de precisión 608-2Z para eje de 8 mm		Aleación de acero
14	3	Union de servo a bicep		Aluminio
15	3	Soporte de rodamiento		Aluminio
16	1	Plataforma del efector final		Aluminio

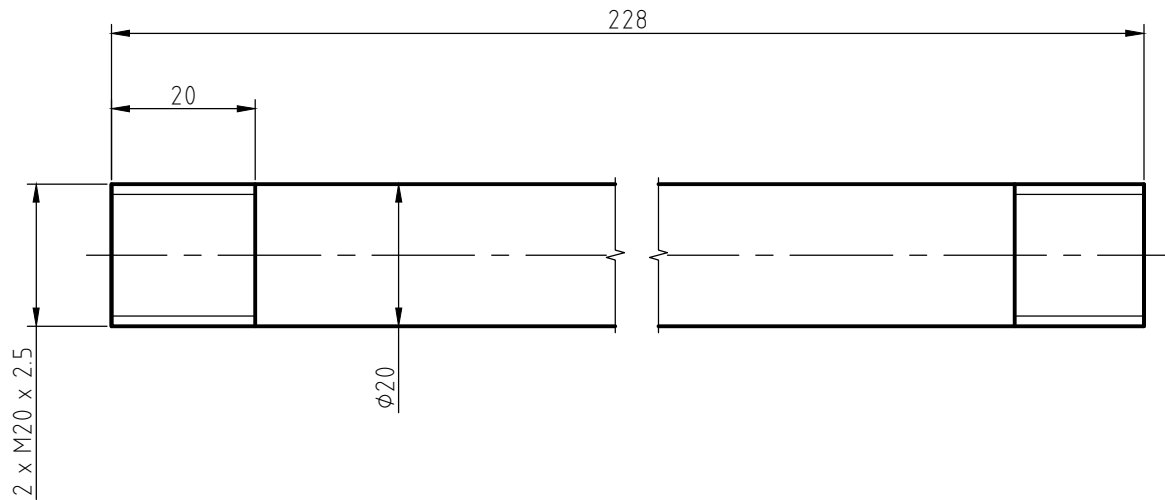
Décimo ciclo	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica
Dibujado:	27/08/21	Fajardo & Montalvan	
Comprobado:	30/09/15	Ing. Luis López	
Trabajo de titulación			
Escala: 1:2	Tol. gen.: ISO	Representación del robot delta	
Lámina: 2	ROBOT DELTA MODULAR		



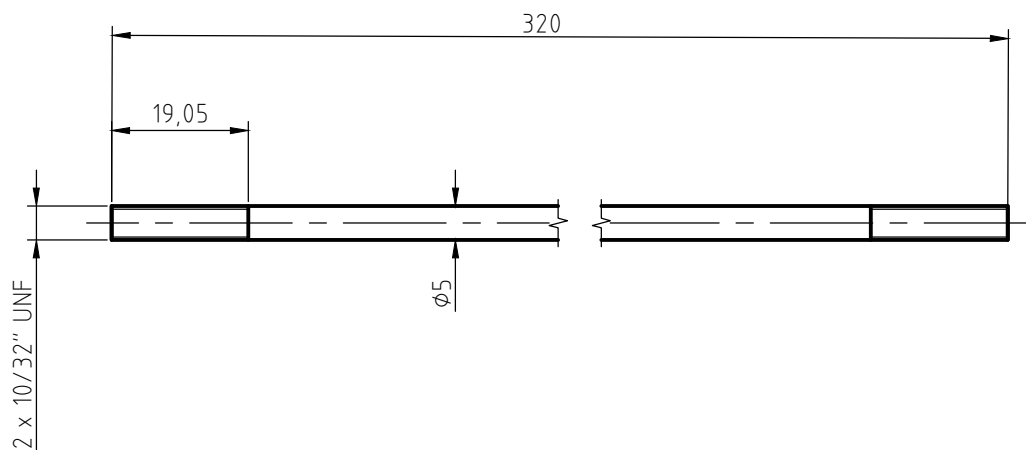
Lista de piezas				
Elemento	Ctd.	Nombre de la pieza	Especificaciones	Material
15	8	Perfil de aluminio 40x40 tipo I con longitud de 320 mm	Roscado M8 x 1.25 mm con profundidad de 38 mm en los extremos cilindricos.	Aluminio
16	4	Rueda giratoria para montaje en vástago, 5537T317		
17	52	Perno de bajo perfil M6 x 1 mm y longitud de 16 mm con tuerca M6		Aleación de acero
18	8	Soporte de escudete para riel de 40 mm, 5537T66		Aleación de acero
19	3	Perfil de aluminio 40x40 tipo I con longitud de 610 mm	Roscado M8 x 1.25 mm con profundidad de 38 mm en los extremos cilindricos.	Aluminio
20	8	Soporte de esquina de 3 vias, 5537T291		Aleación de aluminio
21	4	Perno de cabeza plana M4 x 0.7 mm con longitud de 10 mm		Aleación de acero
22	1	Bandeja de almacenamiento		Aluminio
23	14	Soporte ranurado para perfil de 40 mm, 3136N172		Aleación de acero
24	4	Perfil de aluminio 40x40 tipo I con longitud de 560 mm	Roscado M8 x 1.25 mm con profundidad de 38 mm en los extremos cilindricos.	Aluminio
25	4	Tapa para perfiles		ABS
26	1	Plataforma del modulo		Aluminio
27	8	Perno M6 x 1 mm con una longitud de 30 mm		Aleación de acero
28	8	Perno de cabeza plana M6 x 1 mm con una longitud de 22 mm		Aleación de acero
29	2	Perfil de aluminio 40x40 tipo I con longitud de 420 mm	Roscado M8 x 1.25 mm con profundidad de 38 mm en los extremos cilindricos.	Aluminio


Décimo ciclo	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica
Dibujado:	27/08/21	Fajardo & Montalvan	
Comprobado:	30/09/15	Ing. Luis López	
Trabajo de titulación			
Escala: 1:3	Tol. gen: ISO	Representación del modulo	
Lamina: 3	ROBOT DELTA MODULAR		

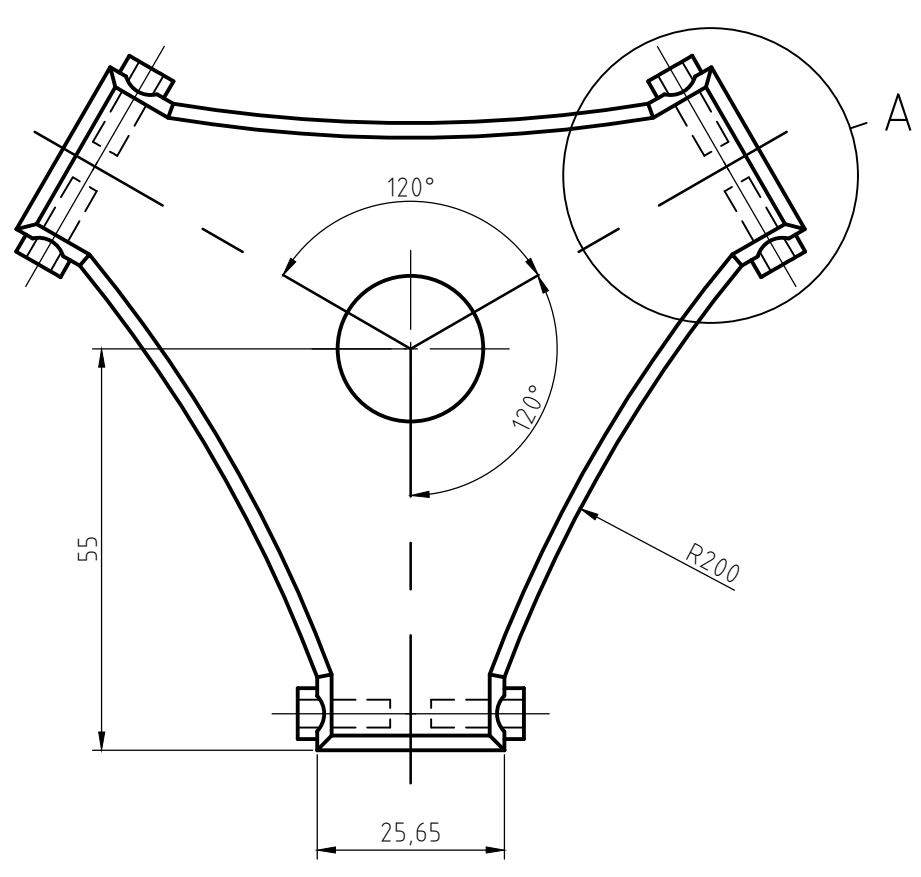
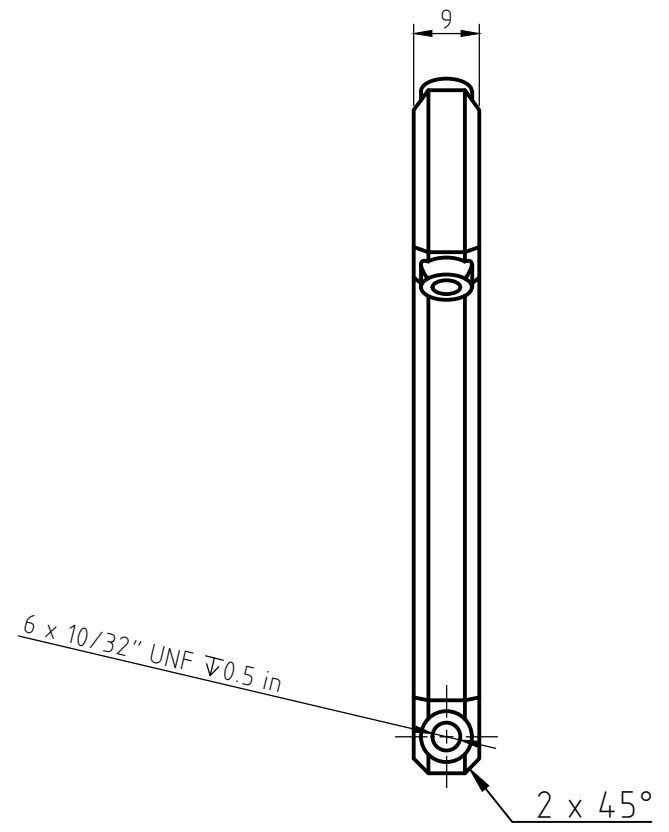
BICEP



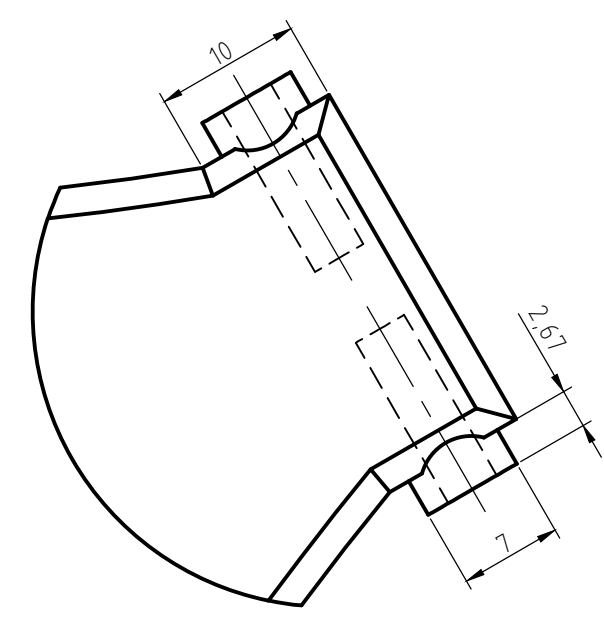
ANTEBRAZO



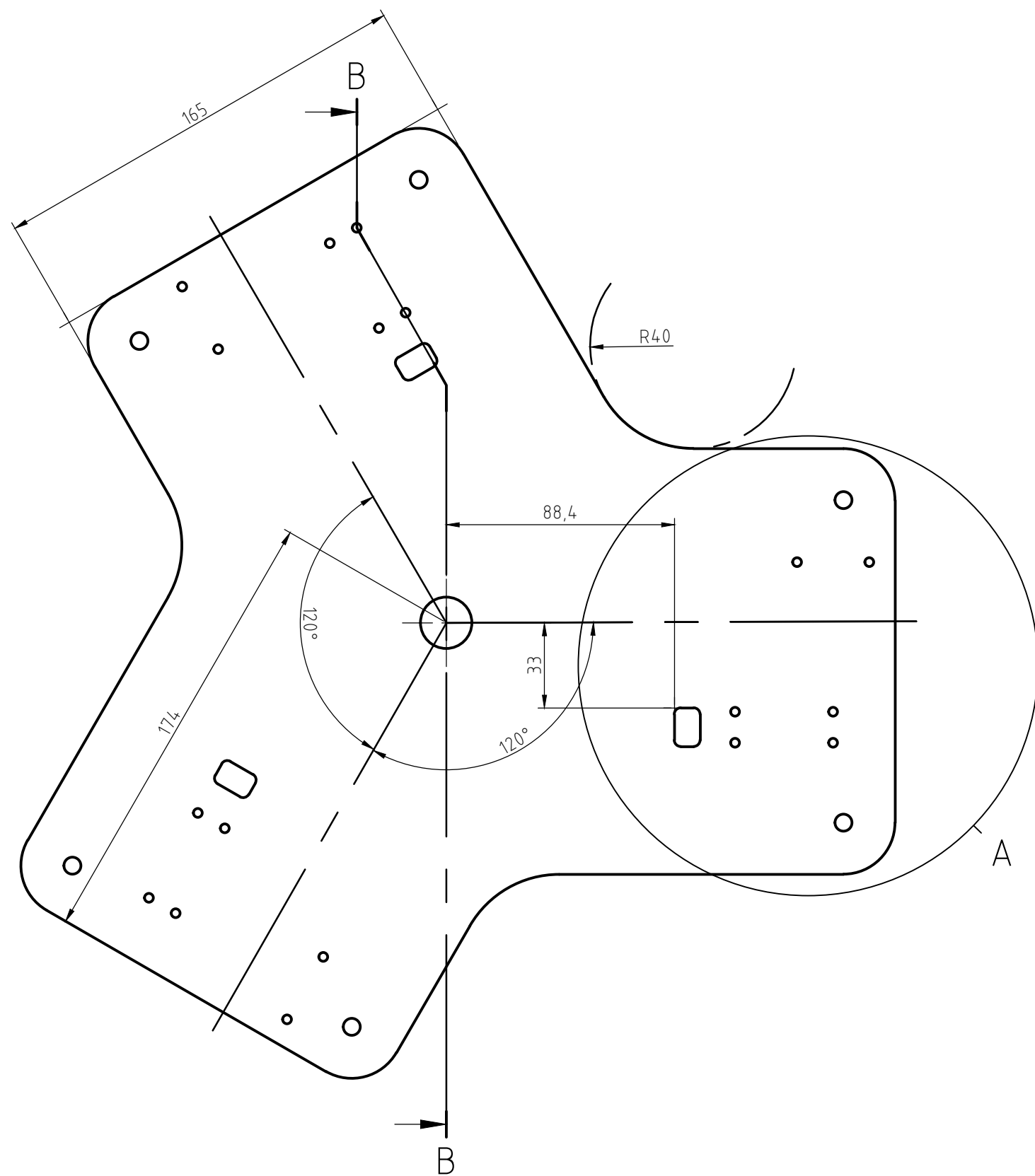
Décimo ciclo	Fecha	Nombre	 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p>
Dibujado:	27/08/21	Fajardo & Montalvan	
Comprobado:	30/09/15	Ing. Luis López	
Trabajo de titulación			<p>INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica</p>
Escala:	Tol. gen.:	Bicep & antebrazo	
1:1	ISO		
Lámina:	4	<i>ROBOT DELTA MODULAR</i>	



A (2:1)

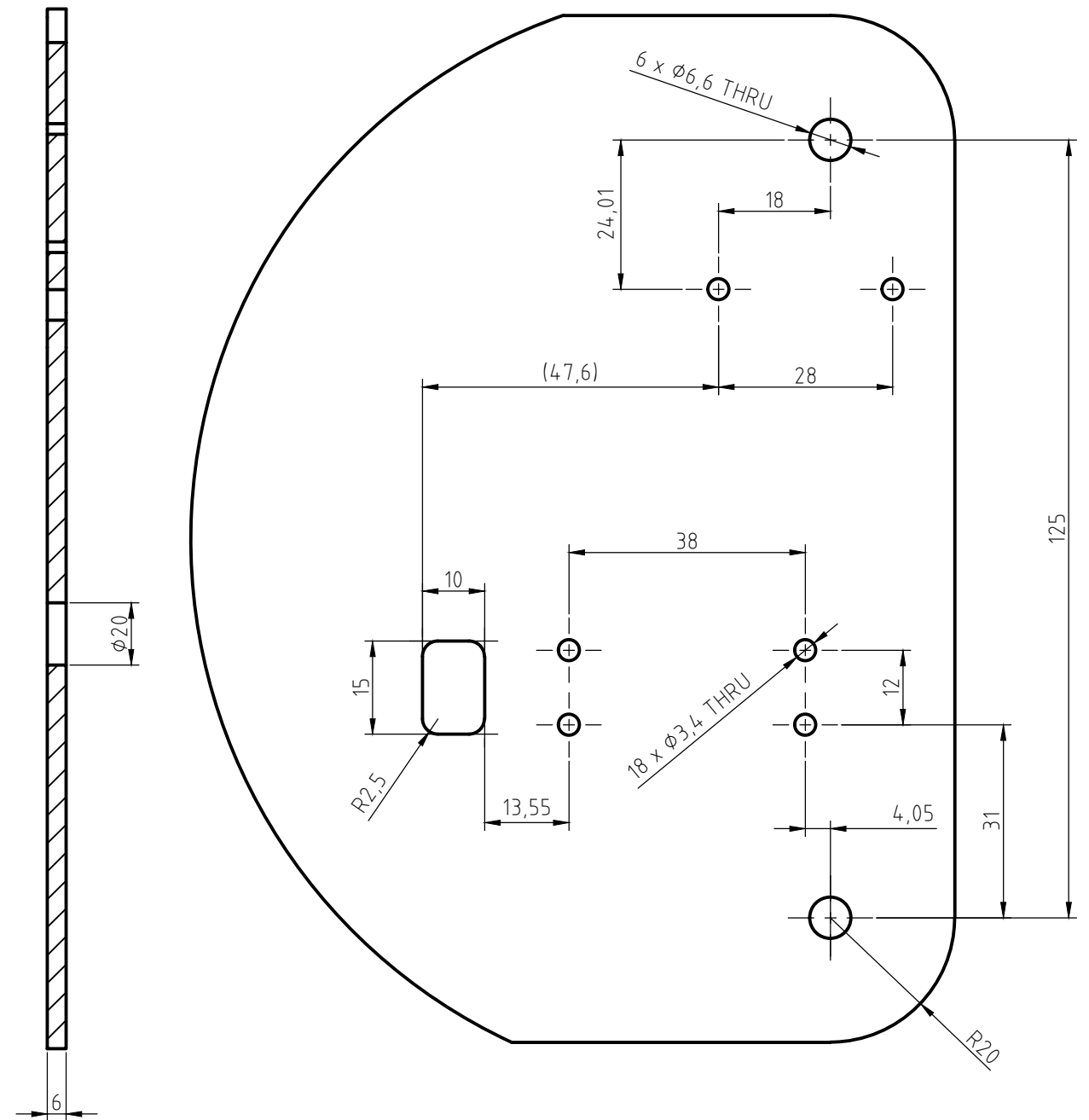



Décimo ciclo	Fecha	Nombre	<p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p> <p>INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica</p>
Dibujado:	27/08/21	Fajardo & Montalvan	
Comprobado:	30/09/15	Ing. Luis López	
Trabajo de titulación			
Escala:	Tol. gen.:	Plataforma del efector final	
1:1	ISO		
Lámina:	5	<i>ROBOT DELTA MODULAR</i>	



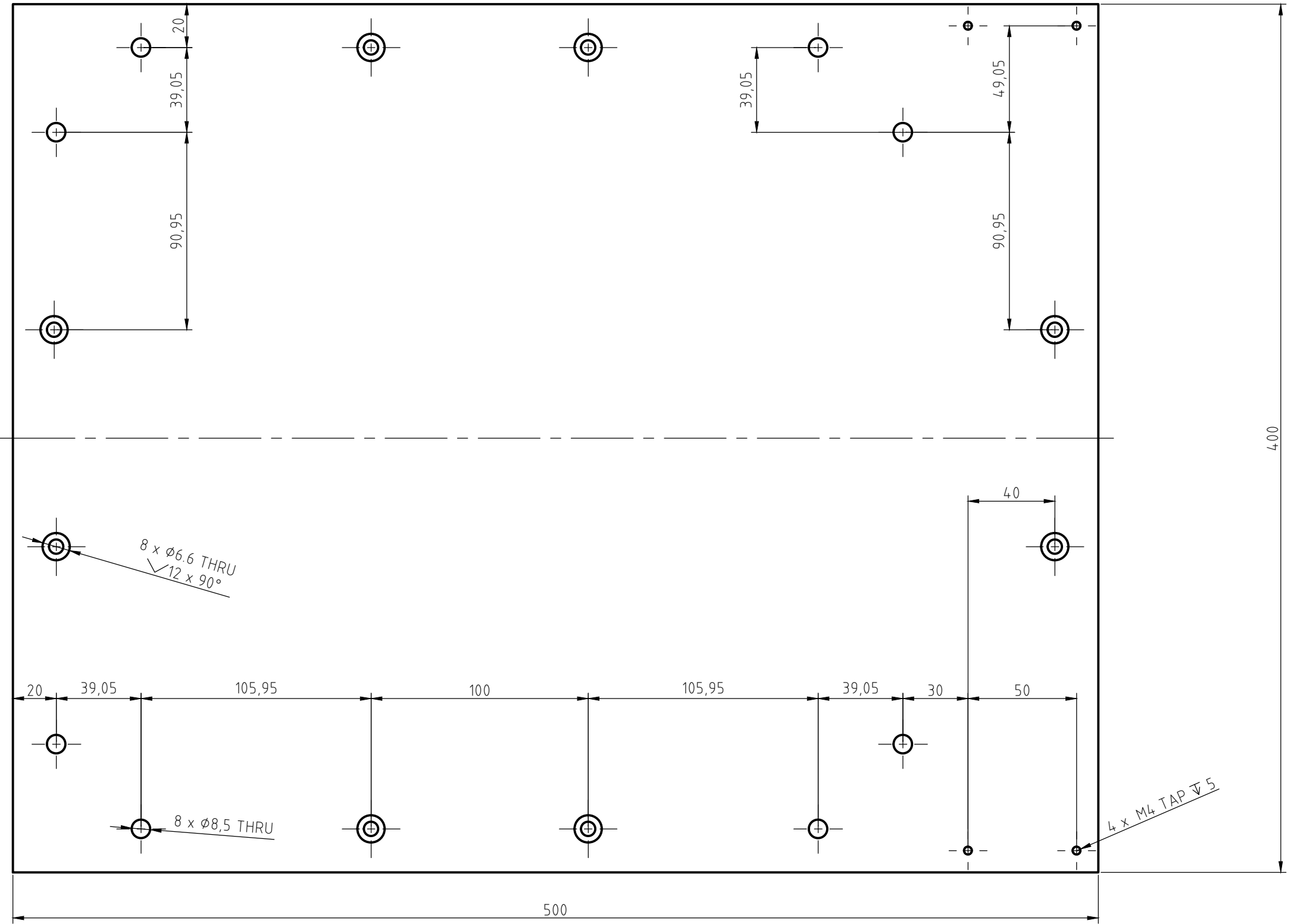
B-B (1:2)

A (1:1)



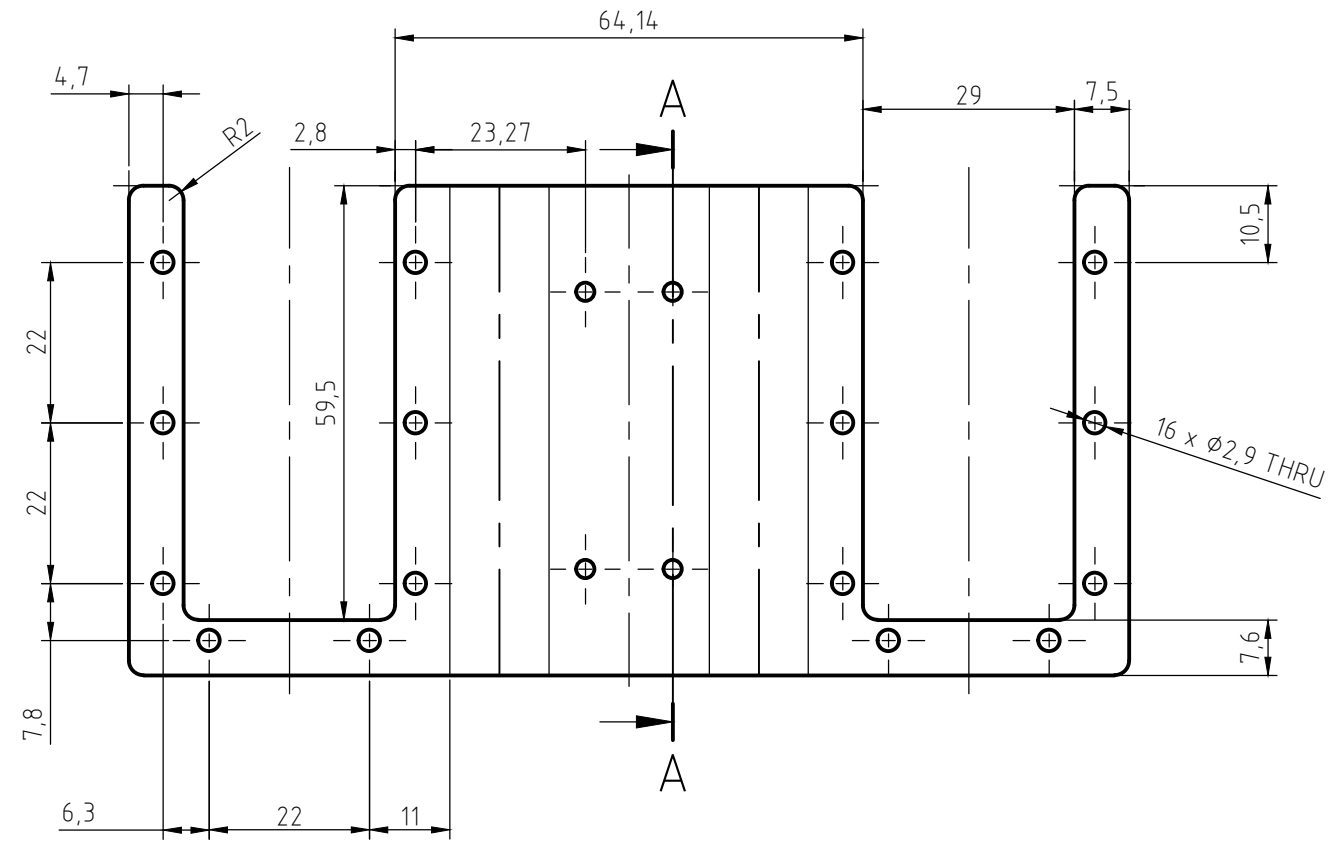
Décimo ciclo	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica
Dibujado:	27/08/21	Fajardo & Montalvan	
Comprobado:	30/09/15	Ing. Luis López	
Trabajo de titulación			
Escala:	Tol. gen.:	Plataforma superior	
1:2	ISO		
Lámina:	6	<i>ROBOT DELTA MODULAR</i>	

ESPESOR DE: 12 MM

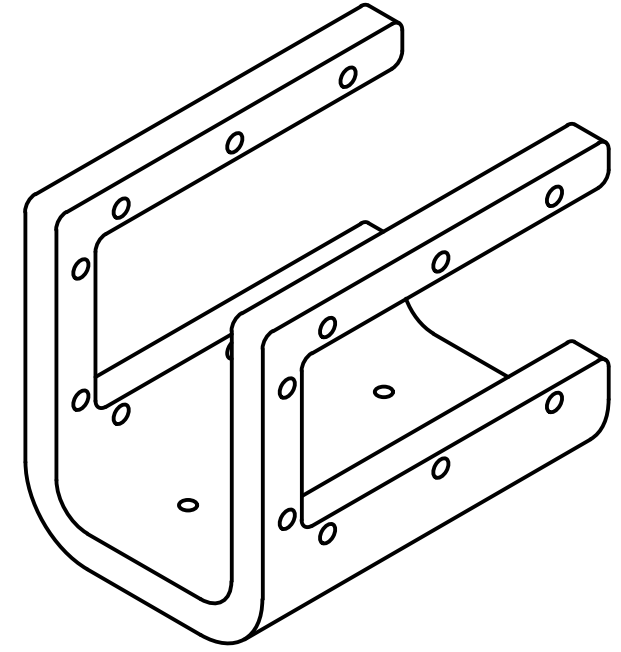
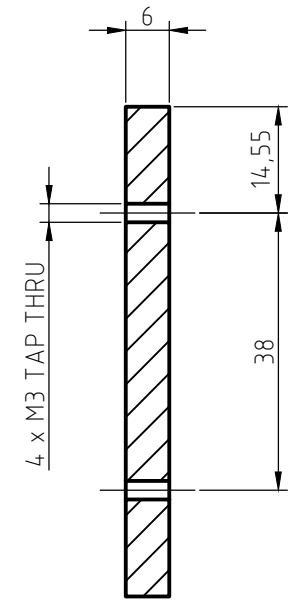


Décimo ciclo	Fecha	Nombre	<p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p> <p>INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica</p>
Dibujado:	27/08/21	Fajardo & Montalvan	
Comprobado:	30/09/15	Ing. Luis López	
Trabajo de titulación			
Escala:	Tol. gen.:	Plataforma del modulo	
1:2	ISO		
Lámina:	7	ROBOT DELTA MODULAR	

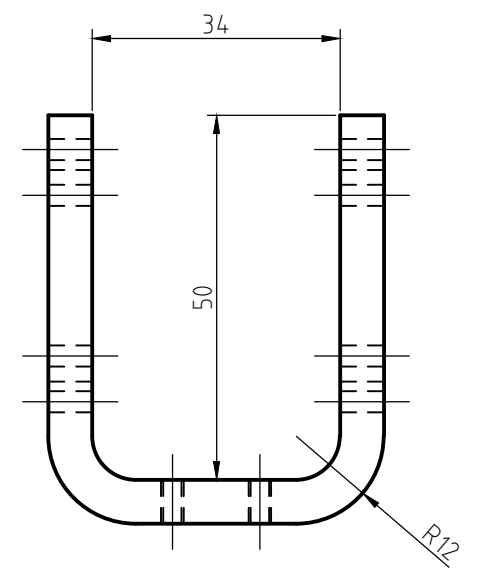
Vista de desarrollo




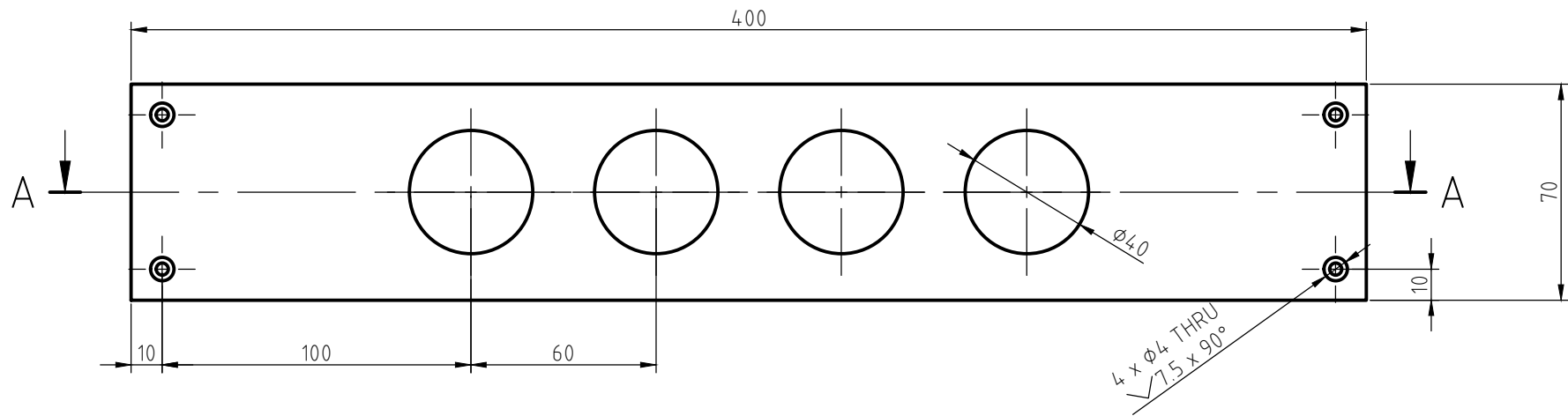
A-A (1:1)



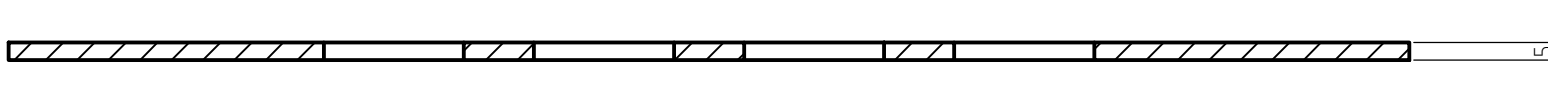
Vista del componente plegado




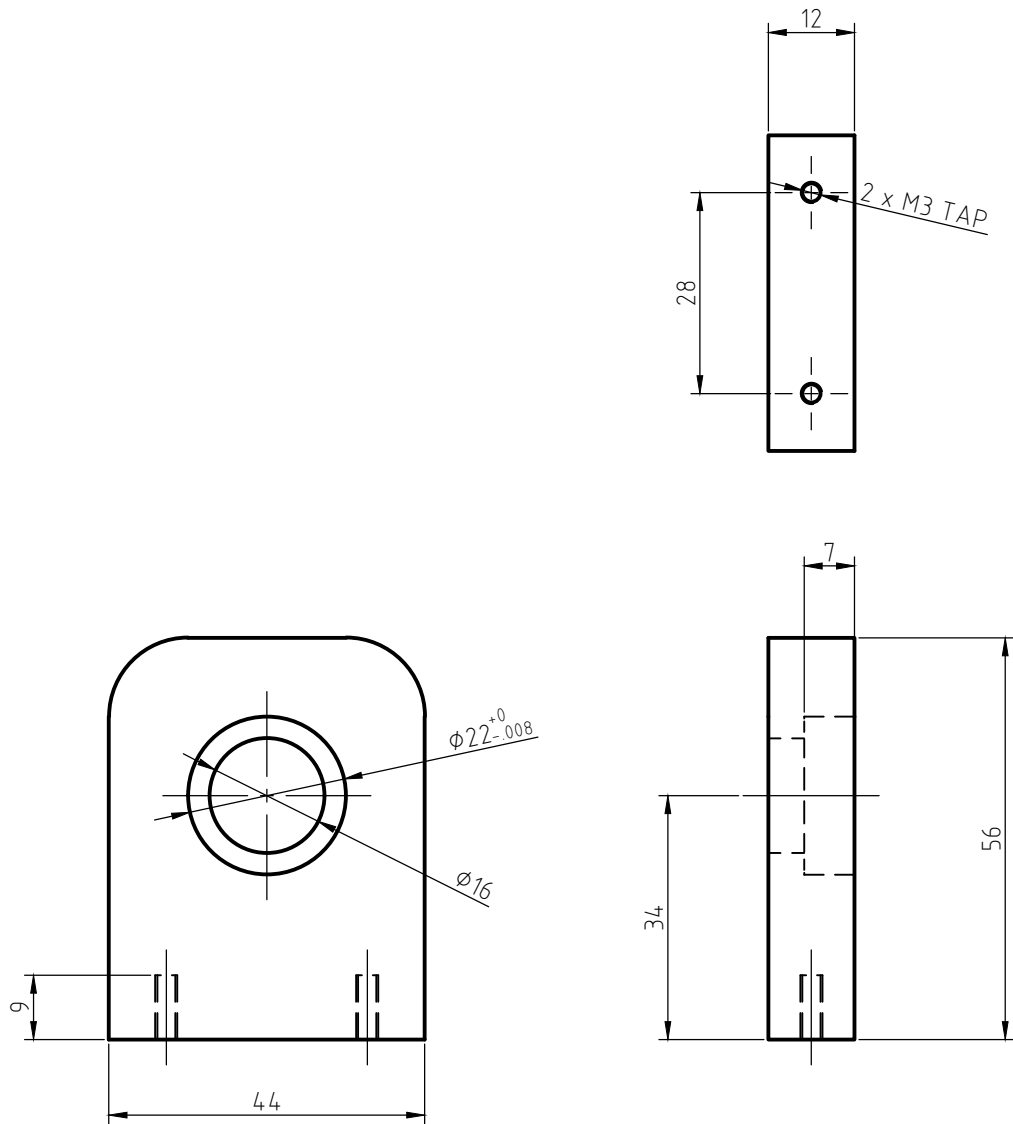
Décimo ciclo	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica
Dibujado:	27/08/21	Fajardo & Montalvan	
Comprobado:	30/09/15	Ing. Luis López	
Trabajo de titulación			
Escala:	Tol. gen.:	Soporte de servo	
1:1	ISO		
Lámina:	8	ROBOT DELTA MODULAR	




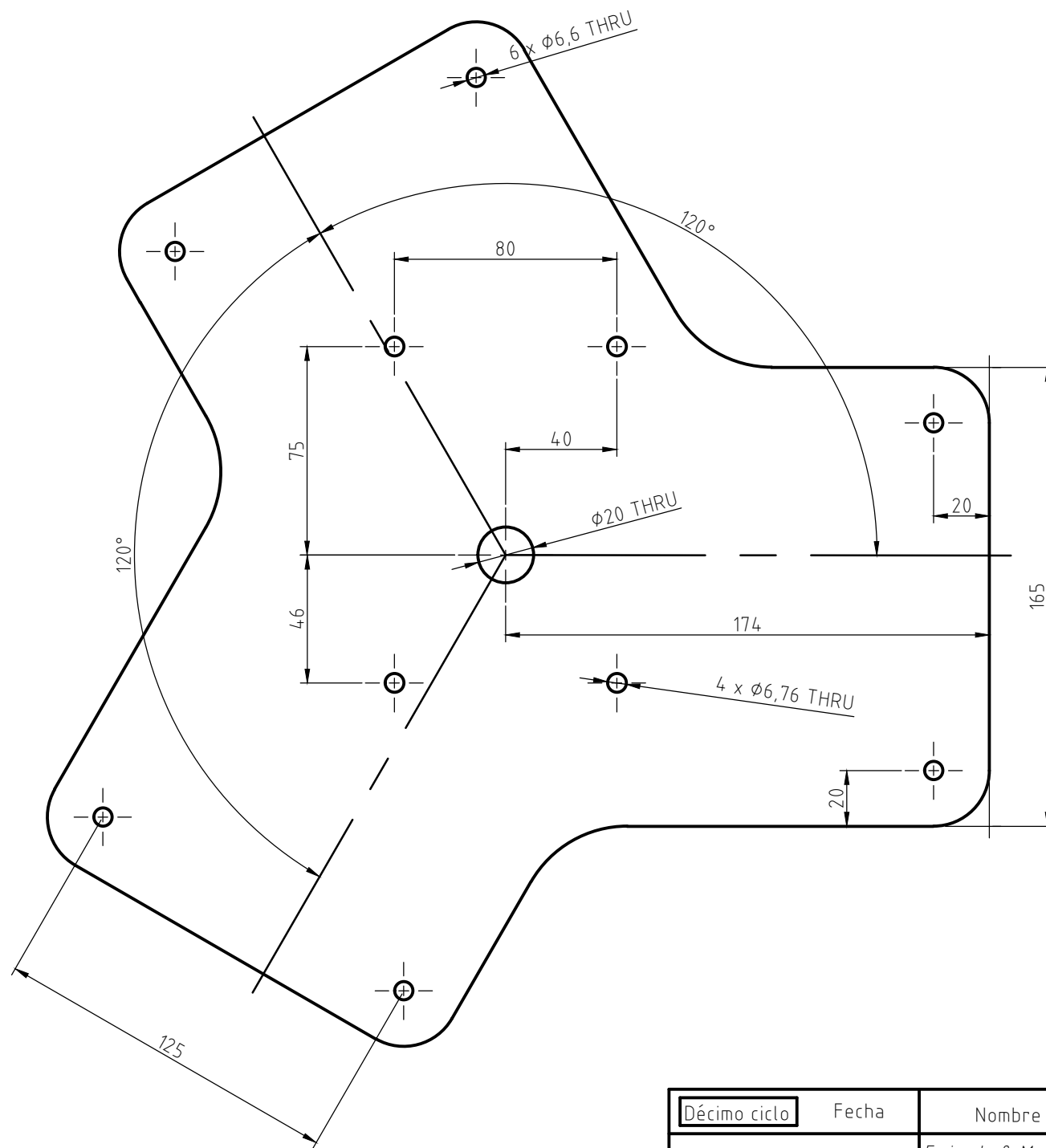
A-A (1:2)




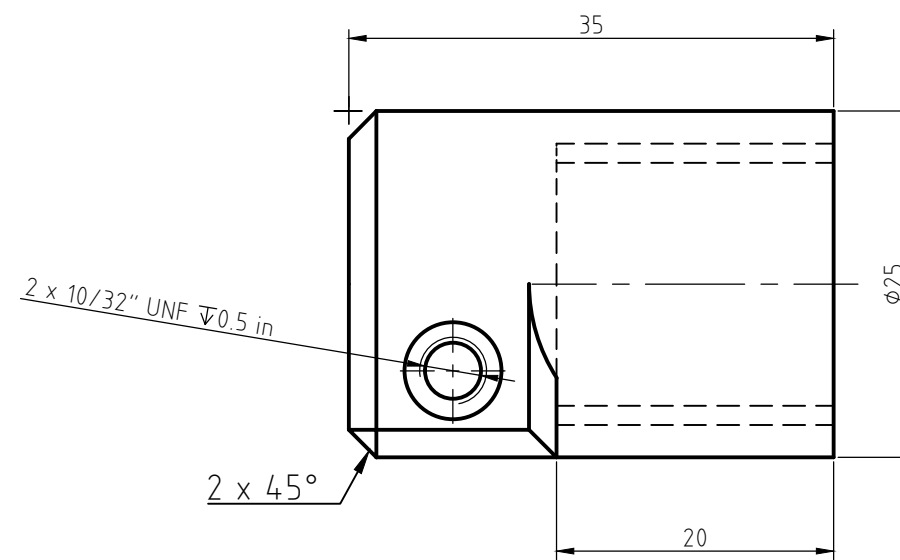
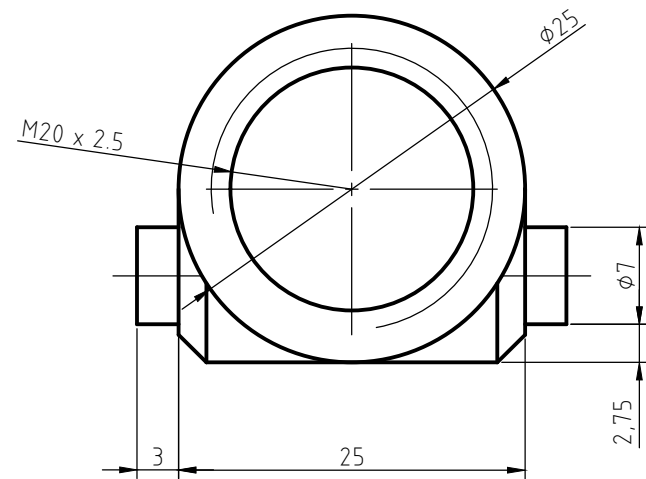
Décimo ciclo	Fecha	Nombre	 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p>
Dibujado:	27/08/21	Fajardo & Montalvan	
Comprobado:	30/09/15	Ing. Luis López	
Trabajo de titulación			<p>INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica</p>
Escala:	Tol. gen.:	Bandeja de almacenamiento	
1:2	ISO		
Lámina:	9	<p>ROBOT DELTA MODULAR</p>	



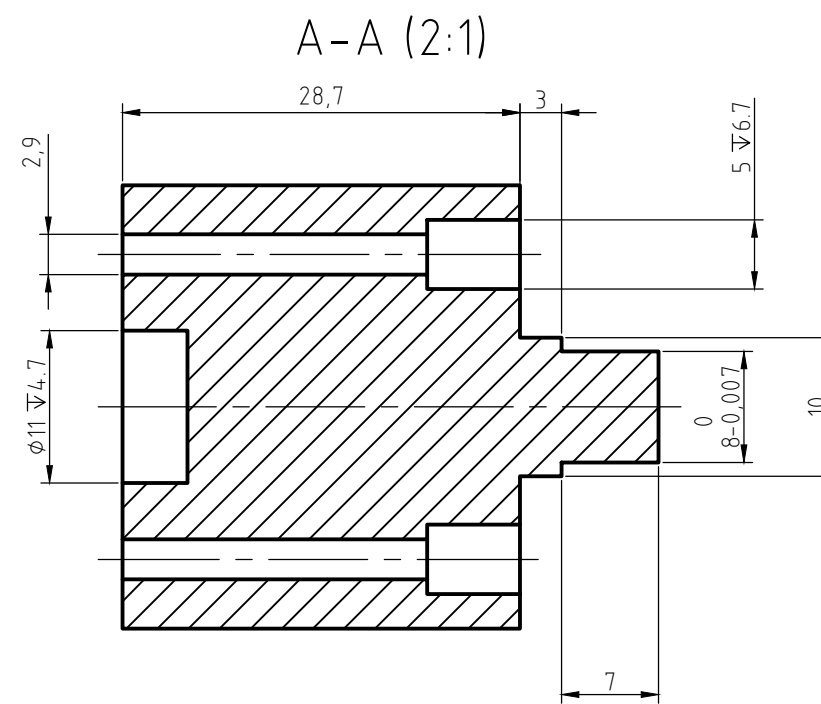
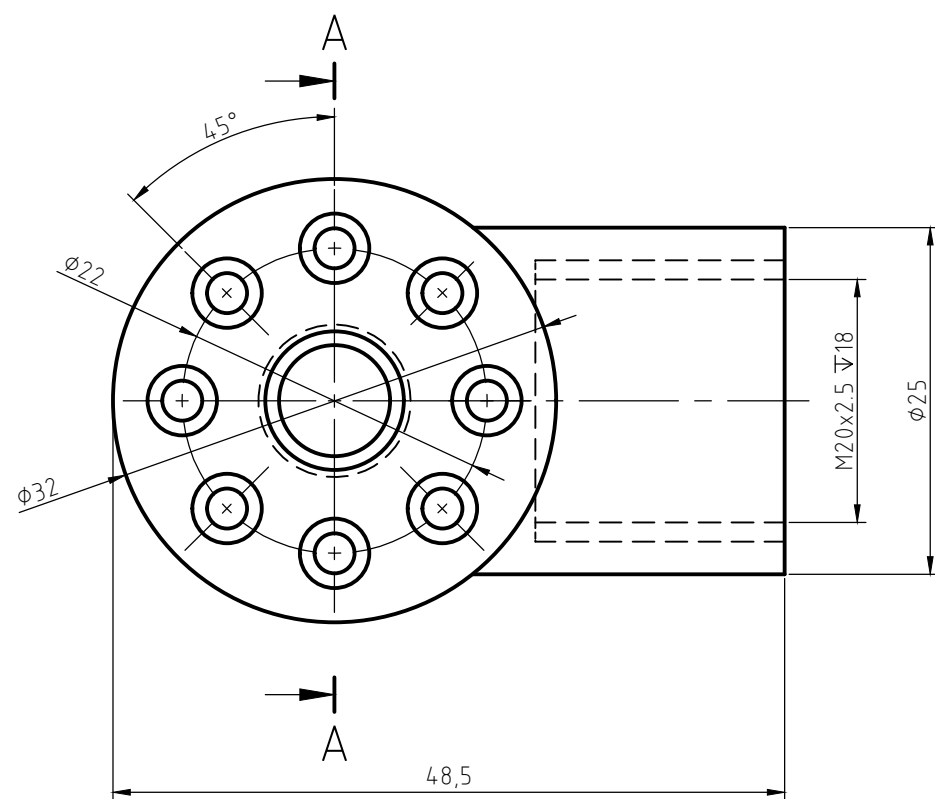
Décimo ciclo	Fecha	Nombre	 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p>
Dibujado:	27/08/21	Fajardo & Montalvan	
Comprobado:	30/09/15	Ing. Luis López	
Trabajo de titulación			<p>INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica</p>
Escala:	Tol. gen.:	Soporte de rodamiento	
1:1	ISO		
Lámina:	10	<i>ROBOT DELTA MODULAR</i>	



Décimo ciclo	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica
Dibujado:	27/08/21	Fajardo & Montalvan	
Comprobado:	30/09/15	Ing. Luis López	
Trabajo de titulación			
Escala:	Tol. gen.:	Plataforma de sujeción	
1:2	ISO		
Lámina:	11	<i>ROBOT DELTA MODULAR</i>	



Décimo ciclo	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica
Dibujado:	27/08/21	Fajardo & Montalvan	
Comprobado:	30/09/15	Ing. Luis López	
Trabajo de titulación			
Escala:	Tol. gen.:	Union de bicep a antebrazo	
2:1	ISO		
Lámina:	12	<i>ROBOT DELTA MODULAR</i>	



Décimo ciclo	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica
Dibujado:	27/08/21	Fajardo & Montalvan	
Comprobado:	30/09/15	Ing. Luis López	
Trabajo de titulación			
Escala:	Tol. gen.:	Union de servo a antebrazo	
2:1	ISO		
Lámina:	13	<i>ROBOT DELTA MODULAR</i>	