



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“DISEÑO MECÁNICO DE UN ROBOT PARALELO
DELTA DE TRES GRADOS DE LIBERTAD”**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

ING. MECÁNICA – DISEÑO MECÁNICO

PRESENTA:

MARTÍN ORTEGA BREÑA



TUTOR:
M.I. LEOPOLDO ADRIÁN GONZÁLEZ GONZÁLEZ

2005

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Marcelo López Parra
Secretario: M.I. Francisco Cuenca Jiménez
Vocal: M.I. Leopoldo Adrián González González
1^{er.} Suplente: M.I. Antonio Zepeda Sánchez
2^{do.} Suplente: M.I. Álvaro Ayala Ruiz

Lugar donde se realizó la tesis:

Posgrado de Ingeniería, Ciudad Universitaria, México D. F.

TUTOR DE TESIS:

M.I. Leopoldo Adrián González González

FIRMA

Diseño mecánico de un robot paralelo Delta de 3 grados de libertad

Introducción	1
Capítulo 1. Definición robot paralelo	3
1.1 Robot Delta	3
1.2 Términos generales	4
1.3 Aplicación de robots Delta en la industria	6
Capítulo 2. Diseño conceptual	12
2.1 Arquitectura Delta	12
2.2 Especificaciones y requerimientos	12
2.2.1 Material	13
2.2.2 Dimensiones	13
2.2.3 Partes	14
2.3 Selección de material	17
2.4 Diseño conceptual	18
2.4.1 Brazo	18
2.4.2 Juntas H	20
2.4.3 Antebrazo	20
2.4.4 Plataforma móvil	21
2.4.5 Contrapesos	22
2.4.6 Base	23
2.4.7 Cople	25
2.4.8 Soporte	26
2.5 Ensamble	27

Capítulo 3. Diseño de detalle	28
3.1 Análisis dinámico	28
3.1.1 Especificaciones para el análisis	28
3.1.2 Cálculo de contrapesos	33
3.1.3 Interferencias	35
3.1.4 Datos dinámicos en trayectoria recta	36
3.1.5 Datos dinámicos en trayectoria circular	45
3.1.6 Área y volumen de trabajo	52
3.2 Análisis estructural	54
3.2.1 Datos iniciales	54
3.2.2 Brazos	54
3.2.3 Base	61
Capítulo 4. Selección de elementos motrices y de control	66
4.1 Sistemas disponibles	66
4.2 Selección del sistema	69
4.3 Control	74
Conclusiones	76
Anexos	
Anexo A. Hojas de datos de materiales	77
Anexo B. Hojas de datos de juntas universales	80
Anexo C. Programa Motion	83
Anexo D. Datos gráficas de análisis dinámico	86
Anexo E. Tablas de fuerzas para análisis estructural	94
Anexo F. Hojas de datos de motores y controladores	100
Anexo G. Planos de fabricación	113
Bibliografía	125

Introducción

El objetivo de este trabajo es diseñar un Robot Paralelo Delta de tres grados de libertad completamente funcional. También se pretende mostrar la utilidad del uso de herramientas de diseño asistido por computadora partiendo de la etapa de modelado y concluyendo en la etapa de análisis, pretendiendo que el diseño final tenga como característica la ausencia de errores típicos como interferencias, deformación y cedencia de los materiales.

La necesidad surge a partir de que en el Laboratorio de Mecánica Computacional del Programa de Posgrado en Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Autónoma de México, se han estado realizando análisis cinemáticos y dinámicos de robots paralelos, utilizando métodos numéricos y programas orientados a simulaciones matemáticas, pero a la fecha no se tiene ningún modelo físico de alguno de los mecanismos analizados, por lo que en este trabajo se presenta la propuesta de diseño de uno de los robots analizados conocido con el nombre de Robot Paralelo Delta.

En el diseño mecánico es común que se pierda tiempo realizando cálculos y desarrollando herramientas personalizadas para la resolución de un problema. Es común que el ingeniero pierda el rumbo de un cierto objetivo planteado inicialmente por estar trabajando en un punto específico del diseño. El tener herramientas computacionales para asistir el diseño facilita la realización del mismo y provee de una serie de ventajas para su modificación y mejoramiento.

La propuesta de diseño que se presenta en este trabajo de tesis, se realizó en un programa llamado Unigraphics®. Este programa consta de varios módulos. Los módulos utilizados para este trabajo son: “Modeling” (modelado paramétrico), “Motion” (análisis dinámico) y “Structures” (análisis estructural). El poder realizar todo el trabajo de diseño dentro de un mismo paquete elimina la necesidad de utilizar traductores para llevar archivos de un programa a otro. Unigraphics® permite la realización de los diferentes tipos de análisis sin tener pérdida de información.

En trabajo que se presenta a continuación de estructura de la siguiente forma:

En el capítulo 1 se presentan definiciones y términos para una mejor comprensión de lo que es un robot paralelo y el robot Delta aplicado a la industria.

En el capítulo 2 se presenta el diseño conceptual de cada una de las partes que conforman al robot, posteriormente se presenta el ensamble para realizar las simulaciones de movimiento. En el ensamble se verifica el correcto acoplamiento de las piezas.

En el capítulo 3 se presentan análisis dinámicos, los cuales tienen como finalidad verificar el funcionamiento del Robot Delta para diferentes trayectorias y velocidades, y a su vez validar el diseño de las partes. A partir de este análisis se determinan interferencias, velocidades de operación, aceleraciones, torques necesarios en las fuentes motrices, peso de

contrapesos y área máxima de trabajo. También se presentan análisis estructurales realizados por medio del método de elemento finito. Las piezas sujetas a análisis son aquellas que son sometidas a mayores fuerzas y momentos durante el movimiento del robot. Se realizan análisis tanto estáticos como dinámicos. Para el caso de los análisis estructurales dinámicos, las fuerzas y momentos necesarios para éstos se obtienen directamente de los análisis de movimiento.

Con la información obtenida en el capítulo 3, en el capítulo 4 se realiza una selección de opciones motrices y de control. En este capítulo se citan diferentes configuraciones motrices para lograr diferentes aceleraciones máximas del robot.

Al final del trabajo se presentan las conclusiones que validan el diseño tomando en cuenta toda la información obtenida. Finalmente también se mencionan problemas que surgieron durante la realización del trabajo y sus soluciones.

Capítulo 1

Definición de robot paralelo

Un robot paralelo es un mecanismo de lazo cerrado en el cual una plataforma móvil está conectada a una base por al menos dos series de cadenas cinemáticas (piernas). Se pueden encontrar aplicaciones de estos robots en las plataformas de movimiento de los simuladores de vuelo y en aparatos de posicionamiento para herramientas de cirugía de alta precisión, dadas las características de movimiento fino de un mecanismo de lazo cerrado. Recientemente, investigadores están tratando de utilizar estas ventajas para desarrollar máquinas herramienta multi-ejes y herramientas de ensamble de precisión. Sin embargo, la estructura complicada del mecanismo no solo limita el movimiento de la plataforma, sino que también crea singularidades cinemáticas complejas en el área de trabajo de la plataforma, y por esta razón, el diseño, planeación de trayectorias y el desarrollo de aplicaciones de los robots paralelos es difícil. Para superar este problema, se introduce el concepto de diseño modular en el desarrollo de robots paralelos. Un sistema de robot paralelo modular consiste en una serie de módulos diseñados independientemente, así como actuadores, articulaciones pasivas, eslabones rígidos, plataformas móviles y órganos terminales, que pueden ser ensamblados rápidamente en un robot completo con varias configuraciones (grados de libertad y geometría), teniendo diferentes características cinemáticas y dinámicas. En el pasado, el concepto de modularidad se había utilizado en el diseño de robots industriales seriales para obtener flexibilidad, fácil mantenimiento y despliegue rápido. Un robot paralelo con un diseño modular reconfigurable no sólo posee las ventajas antes mencionadas sino que también puede reducir el ciclo de desarrollo, el tiempo de diseño, desde su construcción hasta su total funcionamiento. Debido a que el diseño modular reduce la complejidad del problema de diseño a un nivel manejable.

1.1 Robot Delta

La idea básica detrás del diseño de un “Robot Paralelo Delta” es el uso de paralelogramos. Un paralelogramo permite que un eslabón de salida permanezca en orientación fija con respecto a un eslabón de entrada. El uso de tres de estos paralelogramos restringe completamente la orientación de la plataforma móvil que permanece con únicamente 3 grados de libertad. Los eslabones de entrada de estos tres paralelogramos están montados en palancas rotatorias por medio de juntas de revolución. Las juntas de revolución pueden ser actuadas de dos maneras: mediante motores rotacionales o con actuadores lineales. Finalmente, una cuarta pata se utiliza para transmitir movimiento rotacional desde la base al órgano terminal en la plataforma móvil.

El uso de actuadores montados en la base y eslabones de poca masa permiten a la plataforma móvil alcanzar aceleraciones de hasta 50G en ambientes experimentales y $12G_{[1]}$ en aplicaciones industriales. Esto hace a los robots delta un candidato perfecto para operaciones “pick and place” de objetos ligeros (10 gr a 1 kg). Idealmente, su espacio de trabajo es la intersección de tres toroides. Los robots delta disponibles en el mercado operan típicamente en un espacio de trabajo de un metro de diámetro y 20 cm de altura. [1]

1.2 Términos generales [1]

A continuación se presentan definiciones y términos que serán utilizados en capítulos posteriores.

Mecanismo paralelo: mecanismo de lazo cerrado en el cual el órgano terminal (plataforma móvil) está conectado a la base por al menos dos cadenas cinemáticas independientes, algunos términos similares son: robot paralelo, manipulador paralelo, plataforma Stewart, plataforma Gough-Stewart, plataforma Gough, plataforma de movimiento, mecanismo en paralelo, mecanismo de eslabones paralelos, mecanismo de lazo cerrado, maquina cinemática paralela (PKM), hexápodo.

Mecanismo: sistema de cuerpos diseñado para convertir movimiento y fuerzas de uno o varios cuerpos en movimiento restringidos y fuerzas aplicadas en otros cuerpos.

Mecanismo esférico: mecanismo en el cual todos los puntos de sus eslabones describen trayectorias localizadas en esferas concéntricas.

Máquina: sistema mecánico que realiza una tarea específica.

Robot: manipulador multifuncional y reprogramable diseñado para mover materiales, herramientas o dispositivos especiales, a través de movimientos variables programados para la ejecución de una variedad de tareas.

Cadena cinemática: ensamble de eslabones y articulaciones.

Las cadenas cinemáticas abiertas se describen generalmente por la secuencia de sus pares cinemáticos (articulaciones), donde se sigue la siguiente notación:

P: prismáticas

R: revolución

S: esféricas

En ocasiones se utiliza la letra U para denotar una junta universal. Sin embargo la junta universal no es un par cinemático y se debe denotar como RR. Para denotar que un par cinemático está actuado de subraya la letra correspondiente.

Manipulador: mecanismo que usualmente consiste en una serie de segmentos articulados en relación uno con otro, con el propósito de agarrar y/o mover objetos (piezas o herramientas) generalmente con varios grados de libertad. Puede ser controlado por un operador, un controlador electrónico programable o cualquier sistema lógico.

Robot paralelo: Un robot cuyos brazos (ejes primarios) tienen tres articulaciones prismáticas concurrentes.

Plataforma Gough – Stewart: mecanismo paralelo de seis grados de libertad con seis cadenas cinemáticas idénticas, compuesto de una junta universal, un actuador prismático y una articulación esférica.

Máquina cinemática paralela (PKM): máquina herramienta basada en un mecanismo paralelo.

Hexápodo: máquina caminante con 6 patas articuladas o PKM con seis patas.

Mecanismo completamente paralelo: mecanismo paralelo con un órgano terminal de n grados de libertad conectado a la base por n cadenas cinemáticas independientes, cada una teniendo una sola articulación actuada.

Mecanismo paralelo híbrido: mecanismo paralelo con un órgano terminal de n grados de libertad conectado a la base por m ($m < n$) cadenas cinemáticas independientes, cada una teniendo una o más articulaciones actuadas.

Mecanismo paralelo orientacional: mecanismo paralelo para el cual todos los puntos de la plataforma móvil describen trayectorias que están localizadas en esferas concéntricas.

Los mecanismos paralelos con cadenas cinemáticas idénticas se denotan como n -JJJJ donde n es el número de cadenas cinemáticas y JJJJ denota el tipo de cadena cinemática, donde la última letra denota el par cinemático en la plataforma móvil. Dado que la información del tipo de cadena cinemática y el número de actuadores no es suficiente para determinar los grados de libertad de un mecanismo paralelo, esto debe ser especificado.

Por ejemplo, la plataforma Gough- Stewart es un mecanismo paralelo de 6 -GDL 6 - $(RR)\underline{PS}$.

Pose: la posición y orientación de la plataforma móvil.

Configuración: La combinación de posiciones y orientaciones de todos los eslabones y la plataforma móvil. (postura)

Coordenadas articulares: las variables que describen las articulaciones actuadas, también llamadas variables articulares, variables de entrada o variables de control.

Coordenadas generalizadas: las variables que describen la pose de la plataforma móvil.

Cinemática inversa: el problema de encontrar las coordenadas articulares a partir de las coordenadas generalizadas.

Cinemática directa: el problema de encontrar las coordenadas generalizadas a partir de las coordenadas articulares.

Cinemática instantánea inversa: el problema de encontrar las velocidades articulares a partir de las velocidades generalizadas.

Cinemática instantánea directa: el problema de encontrar las velocidades generalizadas a partir de las velocidades articulares.

Configuración singular: es una configuración en la cual todas las velocidades de las articulaciones no pueden ser determinadas ni a partir de las velocidades articulares ni a partir de las velocidades generalizadas.

Espacio de trabajo completo: es el lugar formado por todas las posibles poses de la plataforma móvil.

Subsistema de espacio de trabajo: es un subsistema del espacio de trabajo completo.

Espacio de trabajo de orientación constante: es el sistema de todas las posiciones que puede tomar un punto cuando se mantiene la plataforma móvil con una orientación constante.

Espacio de trabajo de orientación: es el sistema de todas las orientaciones posibles de la plataforma móvil cuando se fija un punto en una posición particular.

Espacio de trabajo de orientación proyectado: es el sistema de todas las direcciones posibles de un vector fijo en la plataforma móvil para un punto fijo en una posición particular.

Espacio de trabajo máximo: es el conjunto de todas las posibles posiciones de un punto para al menos una orientación de la plataforma móvil.

Espacio de trabajo diestro: es el conjunto de todas las posibles posiciones de un punto con cualquier orientación de la plataforma móvil.

Entorno físico: es el conjunto de todos los puntos que pueden ser alcanzados por al menos un punto de todo el mecanismo paralelo en al menos una configuración.

Espacio de trabajo dinámico: es el conjunto de todas las posibles poses y aceleraciones de la plataforma móvil.

1.3 Robot Delta en la industria

Patentes

El diseño del robot Delta es cubierto por una familia de 36 patentes, de las cuales, la más importante es el WIPO patentado en varias partes del mundo. La primera se registró el 18 de junio de 1987 (WO 87/03528), posteriormente en EU en diciembre 11, 1990 (US 4,976,582), y finalmente en Europa en julio 17, 1991 (EP 0 250 470). Las patentes protegen la invención en EU, Canada, Japón y la mayoría de Europa Occidental. Las patentes no especifican la manera en la que se actúa la estructura Delta para poder incorporar el diseño básico, así como sus variantes (como el Triaglidge o el Linapod).

El robot Delta en el mercado

La historia del robot delta en el mercado es larga, complicada e intrigante. Todo comenzó en 1983 cuando dos hermanos suizos Marc-Oliver y Pascal Demaurex crearon la compañía Demaurex basada en Romanel-sur-Lausanne, Suiza. Después de comprar la licencia para el robot Delta en 1987, su mayor objetivo se convirtió en comercializar el robot paralelo en la industria del empaque. Después de varios años, Demaurex triunfó en ocupar el primer puesto en éste difícil mercado. El producto de la compañía atravesó por varias modificaciones. Se comercializaron cuatro versiones bajo los nombres de *Pack-Placer*, *Line-Placer* (ver Fig. 1.1), *Top-Placer*, and *Presto*. Demaurex dice haber vendido 500 robots Delta alrededor del mundo.



Fig. 1.1 Instalación del Demaurex's Line-Placer para empaque de pretzels en una panadería industrial.

La patente del robot Delta fue comprada por los hermanos Demaurex de la EPFL en 1996. Sin embargo, antes de que la transacción se llevara a cabo, la EPFL ya había vendido dos licencias. La primera concerniente a robots de pequeñas dimensiones se le dio exclusivamente a los hermanos Demaurex en 1987. La segunda, concerniente a robots de mayores dimensiones, se vendió a AID y más tarde revendida a DeeMed. Esta compañía, comprada posteriormente por Elekta, se especializa en el ambiente quirúrgico y fabricó un robot Delta usado para manejar un microscopio de 20kg (SurgiScope, Fig. 1.2). La tecnología de los robots Delta se vendió a Medtronic a finales de 1999.



Fig. 1.2 El SurgiScope en acción en el Surgical Robotics Lab, Humboldt-University en Berlín.

Antes de la transacción del SurgiScope, Elekta IGS entro en negociaciones sobre su licencia Delta con el grupo tecnológico en Zurich de ABB. Como resultado, ABB adquirió una licencia para fabricar robots Delta de mayores dimensiones. Entre tanto, Demarex anunció su decisión de producir Deltas de mayores dimensiones (casi 1200 mm). Sin embargo, Demarex no podía construir robots de dimensiones mayores a esas, dado que la compañía tenía la obligación de no entrar en el mercado de más de 1200 mm, al adquirir la licencia para robots abajo de 800 mm.

Parece probable que Demarex haya negociado con los germanos de GROB Werke sobre la licencia para producir el TRIAGLIDE 5g, así como con Mikrn Technology Group para su Triaglidle, ambos robots Delta con motores lineales. Es interesante que Kraise & Mauser Group tiene una patente para su máquina de fresado de 3 ejes Quickstep (US 6,161,992) que es un robot Delta con motores lineales. Aún más, Renault Automation Cornau introdujo en la Exposición de Máquinas Herramienta (EMO 99) en Paris su máquina de fresado el Urane SX que es remarcablemente similar al diseño de Quickstep.



Fig. 1.3 Robots Delta Hitachi Seiki's Delta para tomar-y-colocar y taladrar.

Damurex también licenció a la compañía japonesa Hitachi Seiki para fabricar robots Delta de pequeñas dimensiones para empacar (DELTA, Fig. 1.3 izquierda) y taladrar (PA35, Fig. 1.3 derecha). De hecho, Hitachi Seiki representa a Demarex en Japón.



Fig. 1.4 IRB 340 FlexPicker de ABB Flexible Automation's.

ABB lanzó su robot Delta en 1999 bajo el nombre de IRB 340 FlexPicker (Fig. 1.4), el cual se dirigió a tres sectores industriales: alimenticio, farmacéutico y electrónico. El FlexPicker

está equipado con un sistema de vacío capaz de tomar y dejar rápidamente objetos que pesan hasta 1 kg. El robot es guiado con un sistema de visión de Cognex y un controlador ABB S4C. Opcionalmente, el robot puede ser equipado con un controlador de movimiento y visión de Adept Technology. Las velocidades alcanzables son de 10 m/s y 3.6 %/s (aproximadamente 150 movimientos por minuto), y las aceleraciones son de hasta 100 m/s² y 1.2 rad/s². El robot viene en dos versiones, una sellada resistente a la corrosión especialmente diseñado para ambientes limpios.

Después de casi quince años de ser los únicos en el mercado, Demarex se enfrentó a la decisión del gigante ABB de entrar a este lucrativo mercado. En un intento de mantener su estabilidad a largo plazo, Demarex cambió su línea de producción de simples robots Delta a celdas robóticas completas. Sin embargo, para poder ganar el mercado mundial, los pequeños Demarex comenzaron a buscar un socio. Y así es como Demarex fue adquirido por el grupo suizo SIG a finales de 1999.

El grupo SIG esta formado por tres ramas, de las cuales la rama de SIG Pack, emplea a más de 2000 trabajadores. Una compañía lo suficientemente grande para lograr el acceso que Demarex quería. Demarex conservaría su nombre y a sus dos dueños. En la actualidad SIG Pack Systems ofrece tres diferentes modelos de robots Delta. El C23 y C33 (Fig. 1.5 izquierda) son fabricados por Demarex mientras el CE33 (Fig. 1.5 derecha) es fabricado por SIG Pack Systems.

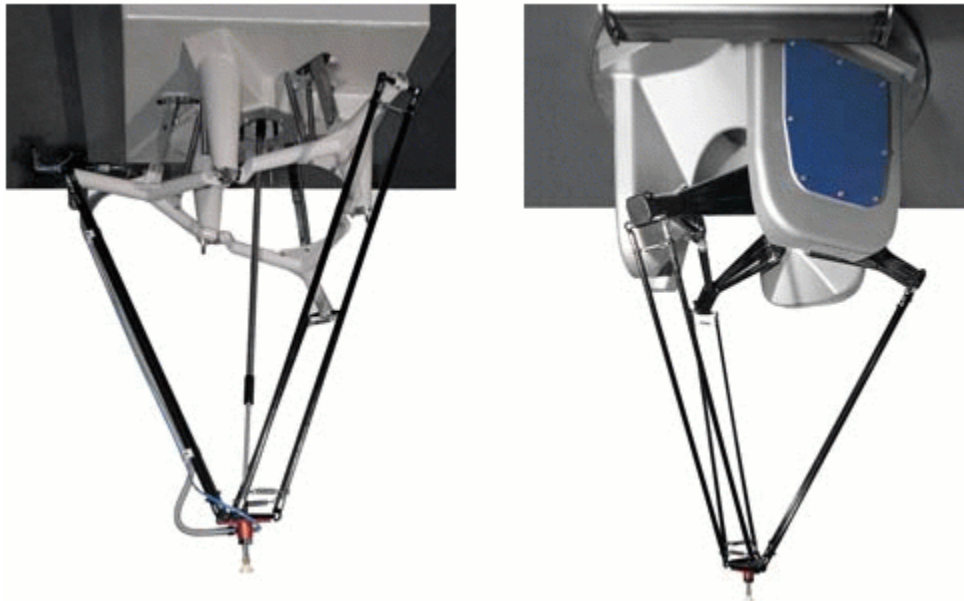


Fig. 1.5 Dos de los tres modelos de robots Delta que ofrece SIG Pack Systems, C33 y CE33.

El robot Delta en la academia

El diseño del robot Delta ha atraído gran interés no solo por la industria sino también por investigadores universitarios. Se han propuesto varias variantes en la literatura pero la mayoría de los que han tenido prototipo se acercan al diseño original. Uno de estos robots

modificados fue construido en la Universidad de Maryland. Otra versión modificada fue construida en la y universidad de Geonoa. En ese diseño, los paralelogramos se reemplazan por mecanismos equivalentes. Otra versión optimizada, NUWAR, fue construido en la universidad de Western Australia. Se dice que el NUWAR alcanza aceleraciones de hasta 600 m/s^2 y difiere de otras versiones de robots Delta en su arreglo no coplanar de sus ejes y sus actuadores rotacionales. También se construyeron versiones de motores lineales en Ferdinand-von-Steinbeis Schule, ETH Zurich y en la universidad de Stuttgart. Otra versión lineal y dos robots Delta convencionales se fabricaron como proyectos estudiantiles en la universidad de Michigan. Una aplicación diferente del robot Delta, como parte de una interfase haptic desacoplada de 6 grados de libertad, fue implementado en la Tohoku University. Una aplicación todavía más original de un robot Delta se encuentra en un aparato para transplantar vegetales de la Dalhousie University.

Naturalmente, la mayor concentración de miembros de la familia del robot Delta se encuentra en su lugar de nacimiento, l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Existe un haptic device construido por el Virtual Reality and Active Interfaces Group de EPFL. Su aparato Delta Force Feedback esta disponible en el mercado por 20,000 USD. Otro robot Delta típico fue construido en el Automation Institute de EPFL. Y claro, varios robots Delta (*Delta 720*, *Linear Delta*, y *MicroDelta 240*) fueron *construidos por el Parallel Robotics Group* dirigido por el Prof. Reymond Clavel. Curiosamente, una de las últimas invenciones utiliza el mismo concepto de paralelogramo para construir un robot con tan solo grados orientacionales de libertad (Argos).+

El robot Delta permanece sin competidores en el sector de robots de transferencia rápida.

Capítulo 2

Diseño conceptual

2.1 Arquitectura Delta

Considerando y empleando los términos presentados en el capítulo 1, a continuación se presentan las características del robot que se va a diseñar.

En primer lugar, el robot se puede considerar como un mecanismo completamente paralelo, por lo que puede ser denominado manipulador debido a que podría ponerse un órgano terminal en la plataforma móvil para efectuar alguna tarea determinada.

Su designación por arquitectura es:

3 – GDL 3 – \underline{R} (RR)(RR)

En la figura 2.1 se muestra un esquema del robot Delta.

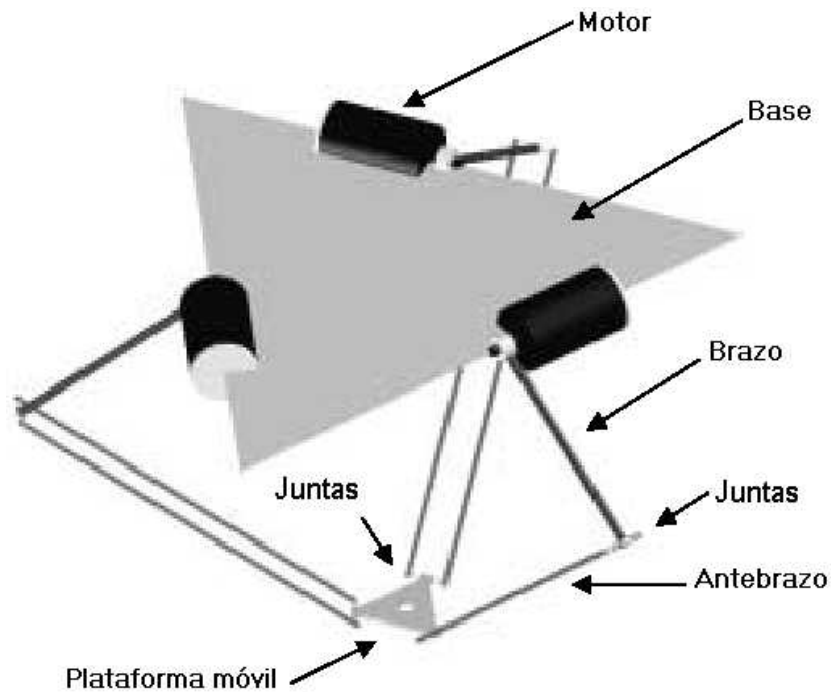


Fig. 2.1 Esquema del Delta en alambre.

2.2 Especificaciones y requerimientos

Para comenzar el diseño conceptual del robot, es necesario primero definir todas las especificaciones y requerimientos que deben tomar en cuenta. Desde el material hasta características específicas de cada una de las partes.

En primer lugar se busca tener piezas modulares, esto es, que una pieza determinada pueda ser utilizada en varias partes del robot. Dado que el robot delta por definición tiene tres cadenas cinemáticas iguales, muchas de las piezas tendrán que ser fabricadas por triplicado.

2.2.1 Material

Para facilitar el diseño y construcción, en este proyecto se intenta utilizar un mismo tipo de material para todas las piezas del robot. El material debe cumplir con las siguientes restricciones:

- Bajo peso
- Resistencia a la deformación (rigidez)
- Maquinabilidad

La necesidad de tener un bajo peso se debe a que el robot por si mismo tiene movimiento, al tener movimiento genera momentos de inercia, y como los momentos de inercia son proporcionales a la masa de los objetos en movimiento, se busca reducir al máximo estos momento de inercia por lo que se busca un material ligero.

Los momento de inercia también generan fuerzas, las cuales son capaces de deformar los eslabones y elementos del robot. Es por eso que es necesario que el material utilizado tenga un módulo de elasticidad alto para garantizar una buena precisión en los movimientos del robot.

Para poder ser construido de una manera sencilla y barata, el robot delta debe contener piezas que pueden ser fabricadas por operaciones de maquinado convencionales (torno y fresa) y que el material elegido presente buena maquinabilidad.

2.2.2 Dimensiones

Las dimensiones básicas del robot delta paralelo fueron tomadas directamente del modelo realizado en la universidad de Western Australia. En esta universidad se realizó un robot delta “NUWAR” cuyas dimensiones se encuentran optimizadas para maximizar el área de trabajo [3]. Las dimensiones son las siguientes y se aprecian en la figura 2.2.

Longitud del brazo “A” : 26 [cm]

Longitud del antebrazo “B” : 48 [cm]

Distancia radial de los motores al centro “C” : 19.4 [cm]

Distancia radial a partir de las juntas inferiores al centro de la plataforma móvil “D”: 3 [cm]

Espaciamiento entre antebrazos “E” : 5 [cm]

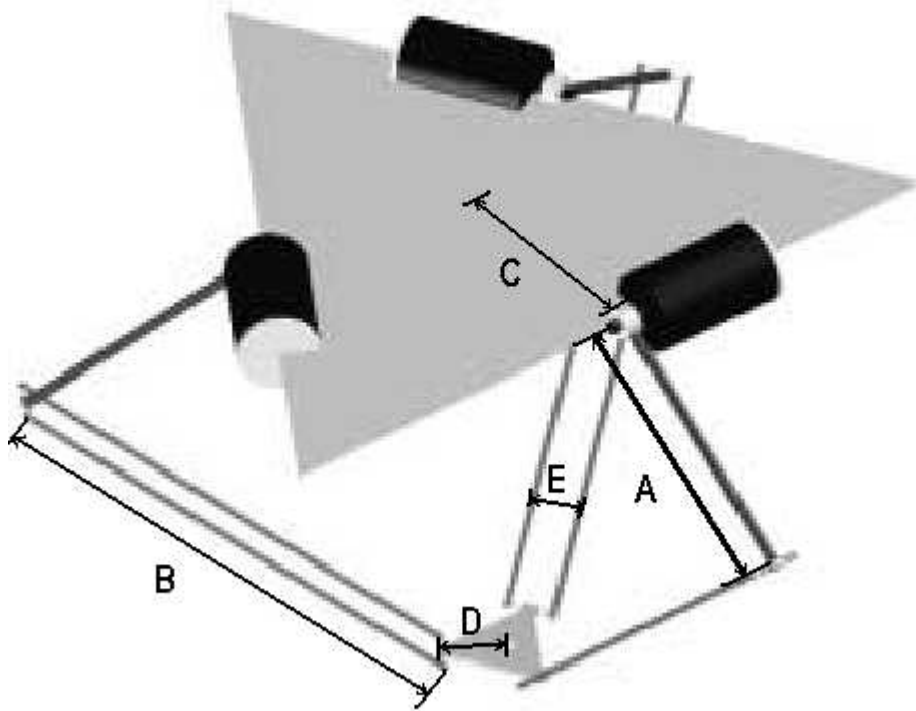


Fig. 2.2 Dimensiones del robot delta.

2.2.3 Partes

Cada una de las partes que conforman al robot tienen restricciones determinadas dependiendo de la función que desempeñen. A continuación se presentan estas restricciones para cada elemento.

Brazo

- Bajo peso
- Resistencia a la deformación
- Fácil fabricación
- Debe contar con un acoplamiento para en motor

Además de buscar que el material sea ligero, se busca que la pieza contenga poco material para bajar aún más el peso.

El brazo es la pieza que se encuentra sometida a las mayores fuerzas dinámicas. Es por esta razón que debe tener resistencia a la deformación. La pieza estará sometida a esfuerzos de flexión por lo que la pieza debe tener la capacidad de soportarlos para evitar desplazamientos que afecten la precisión de robot.

La geometría de la pieza debe ser lo suficientemente sencilla para no requerir muchos procesos de maquinado o la necesidad de utilizar máquinas sofisticadas. A esto se refiere la facilidad de fabricación.

El brazo es la pieza que recibe el movimiento de los motores. Es por esta causa que es necesario que exista un método de acoplamiento del brazo con los motores. Este acoplamiento debe ser tal que no exista deslizamiento entre el eje del motor y el eje de giro del brazo.

Juntas H

- Bajo peso
- Fácil fabricación
- Acoplamiento con brazo, antebrazo y plataforma móvil

Las primeras dos restricciones ya fueron explicadas en las restricciones del brazo y son las mismas razones para tenerlas en esta pieza.

Las juntas H deben tener una geometría tal que deben ser la unión de los antebrazos con el brazo y la plataforma móvil. Se busca que las juntas H tengan una geometría que permita colocarlas tanto en la parte superior como en la inferior.

Antebrazo

- Bajo peso
- Resistencia a la deformación
- Fácil fabricación

Las razones para las tres restricciones ya fueron descritas en las piezas anteriores. Se intenta bajar el peso para evitar momentos de inercia grandes y al mismo tiempo tener resistencia a la deformación para evitar falta de precisión.

Plataforma móvil

- Bajo peso
- Acoplamiento con antebrazo
- Capacidad de sujetar un órgano terminal

Dado que la plataforma móvil es la que sufre los mayores desplazamientos, su bajo peso es de suma importancia. A su vez debe acoplarse a los antebrazos y debe tener un área suficiente como para poder agregar un órgano terminal.

Contrapesos

- Fácil fabricación
- Peso considerable (mayor al de las partes anteriores)

Los contrapesos tienen la función de contrarrestar el peso del robot. Es por esto que deben tener el peso equivalente de varios de los elementos del robot. Para evitar tener un volumen alto de material en los contrapesos se busca utilizar un material más pesado que en el resto del robot.

Base

- Capacidad de sostener al robot
- Capacidad para colocar al robot en una superficie plana
- Resistencia a la deformación
- Permitir el libre funcionamiento del robot

La base es la estructura que sostiene al robot. De ella penden todos los elementos de las tres cadenas cinemáticas que lo componen. Además, la base debe tener una geometría tal que permita colocar al robot en una superficie horizontal, en lugar de tener que colgarlo de algún elemento en el techo.

Dado que la base carga con el peso de todo el robot, elementos motrices y de control, es necesario que tenga resistencia a la deformación. Al igual que los elementos estructurales anteriores, la deformación generaría una precisión pobre.

Al tiempo que funciona como soporte del robot, la base debe permitir que éste se mueva libremente en todo su espacio de trabajo.

Cople

- Fácil fabricación
- Capacidad de acoplamiento con diferentes fuentes motrices
- Acoplamiento con el brazo
- Cero deslizamiento entre el eje del motor y el eje del brazo

El cople, además de ser fácil de fabricar, debe permitir acoplar a diferentes motores. Esta restricción nace de la necesidad de poder probar el rendimiento y las capacidades del robot dependiendo de la fuente motriz que se le coloque, sin tener que fabricar un cople nuevo para cada opción.

Además, el cople debe tener un mecanismo de fijación que impida el deslizamiento entre cople y eje motriz, así como un mecanismo para fijarse al brazo.

Soporte

- Fácil fabricación
- Alojamiento para un balero

Uno de los extremos del brazo está sostenido por el eje mismo de la fuente motriz. Si embargo, el peso del robot genera un momento flexionante en el eje motriz por lo que es necesario colocar un soporte del lado contrario del motor. Este soporte debe alojar un balero en el cual gira un eje que está directamente acoplado al eje de giro del brazo.

2.3 Selección de material

Para realizar la selección de material se evaluaron tres tipos de materiales comunes para aplicaciones estructurales que cumplen con las restricciones solicitadas anteriormente en este capítulo:

- Acero
- Aluminio
- Plástico

Específicamente los materiales a evaluar serán Acero 1060, Aluminio 6061 y Nylon 6/6 debido a que son los más comúnmente utilizados. Las propiedades de cada uno de los materiales se obtuvieron de tablas de datos (Anexo A) y se muestran aquellas relevantes para la selección en la tabla 2.1.

Material	Densidad [g/cc]	Módulo de elasticidad [GPa]	Relación densidad/Mod. Elasticidad
Acero 1015	7.87	200	25.41296061
Aluminio 6061	2.7	68.9	25.51851852
Nylon 6/6	1.16	3.31	2.853448276

Tabla 2.1 Propiedades de materiales.

De lo anterior se observa que el acero y el aluminio tiene una relación densidad – módulo de elasticidad muy parecidas. En cambio la del Nylon resulta visiblemente más baja.

Si se tratara de elegir un material considerando su alta resistencia a la deformación, la opción sería acero, sin embargo, dentro de las restricciones es muy importante cumplir con la restricción de bajo peso, y como el acero pesa en promedio 7 veces más que el Nylon, se optó por elegir el Nylon como material para fabricar el robot, el cual es muy ligero y su capacidad para resistir las fuerzas que se generen debido al movimiento serán evaluadas en el capítulo de diseño de detalle

El nylon es un material que puede maquinarse fácilmente. Puede maquinarse a una velocidad mayor que el acero o el aluminio. Además presenta buen acabado y estabilidad dimensional.

En caso de que el Nylon no cumpla con las restricciones establecidas, se elegirá al aluminio como segunda opción, debido a su bajo peso.

2.4 Diseño Conceptual

A partir de las restricciones planteadas en el apartado anterior, se propone a continuación el diseño conceptual de cada una de las partes que constituirán al robot Delta.

2.4.1 Brazo

Largo: 26 [cm] (determinado en restricciones dimensionales).

Ancho: El ancho del brazo afecta directamente la estabilidad lateral del mismo. Entre mayor sea el ancho, mayor será la estabilidad del brazo. Además el ancho del brazo también afecta la distancia entre los lados del antebrazo. Una adecuada distancia de separación entre estos asegura que la placa del órgano terminal no gire de manera indeseada. Se propone hacerlo un poco más delgado que lo establecido en las restricciones debido a que se intenta disminuir aún más en peso y además no se encontró que el modificar esta restricción afecte el espacio de trabajo, por lo tanto se propone un ancho de 40 [cm].

Espesor- Debido a que el mayor espesor manejado en el robot es de media pulgada en las juntas universales, se propone un espesor de placa de la misma magnitud.

Dadas estas restricciones, la primera configuración para el brazo se muestra en la figura 2.3.

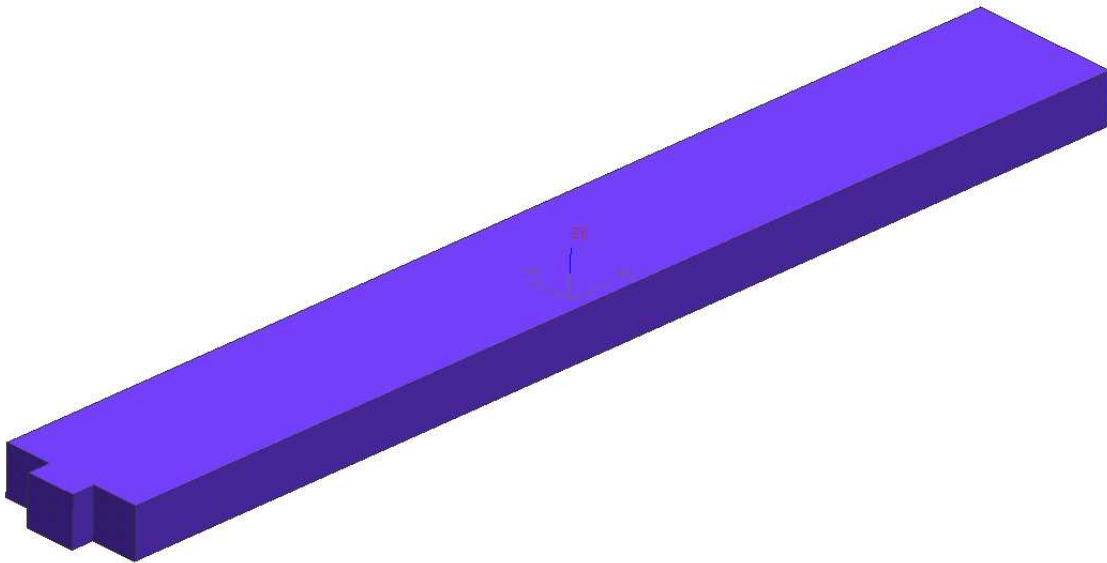


Fig. 2.3 Primera configuración del brazo.

El extremo superior del brazo debe extenderse por encima del eje de rotación con el objetivo de proporcionar un acoplamiento para los contrapesos. Los contrapesos tienen la finalidad de contrarrestar el efecto de la gravedad sobre el robot. Dado que el robot cuelga, las cadenas cinemáticas tienden a estirarse al máximo. Gracias a los contrapesos se puede equilibrar las fuerzas y mantener al robot en una posición estable de inicio.

Además, como los extremos del brazo deben acoplarse con otras piezas adyacentes, se propone que ambos extremos de los brazos tengan una terminación que permita acoplar las piezas adyacentes mediante un tornillo allen de $\frac{1}{4}$ de pulgada. Dados estos requerimientos la nueva configuración del brazo se muestra en la figura 2.4.

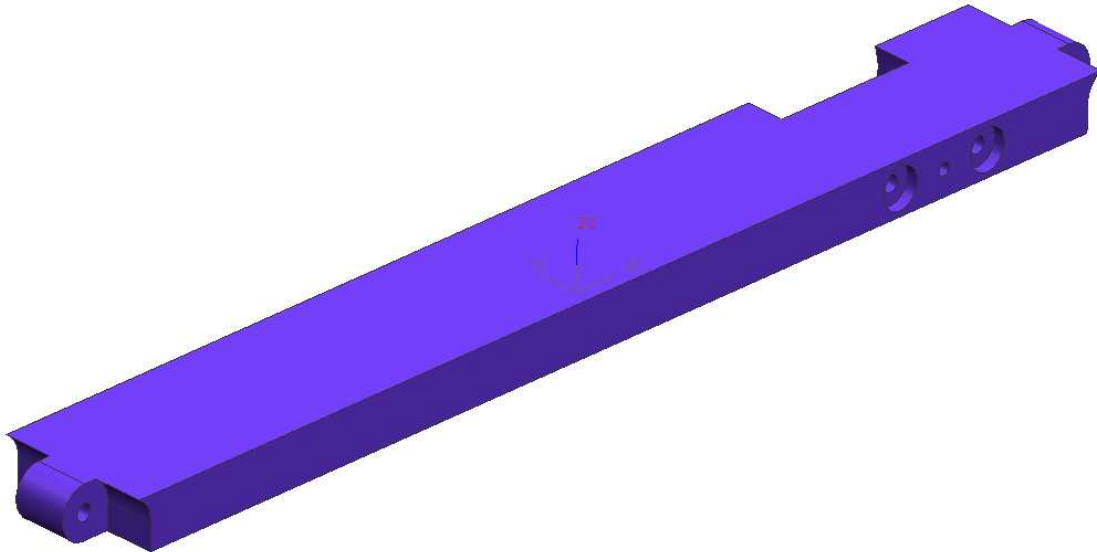


Fig. 2.4 Segunda configuración del brazo.

Ahora, con la finalidad de disminuir el peso total del brazo, se propone eliminar material como se muestra en la figura 2.5.

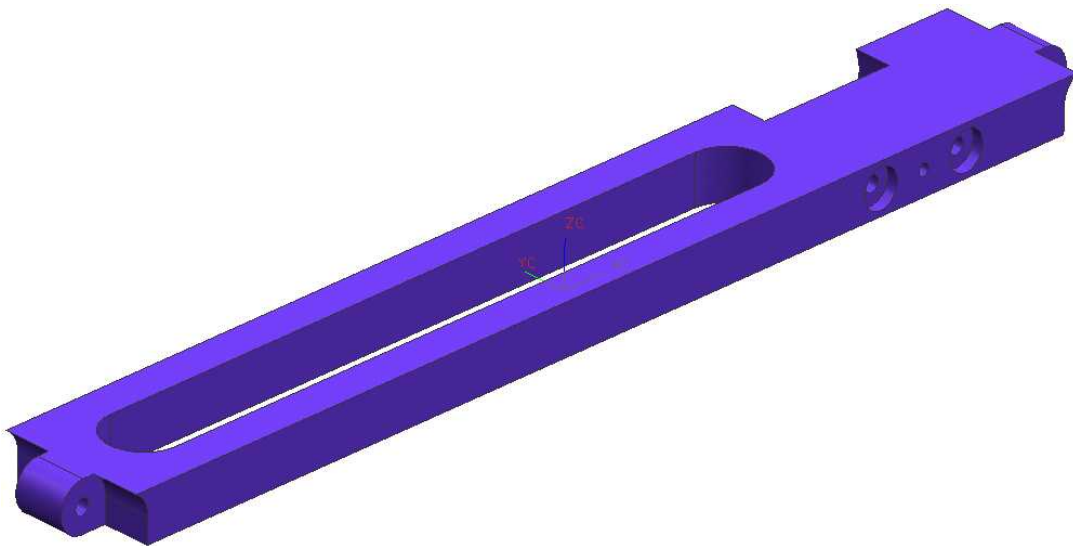


Fig. 2.5 Tercera configuración (final) del brazo.

El diseño de la tercera configuración será sometido a un análisis de elemento finito en el siguiente capítulo para asegurar que resiste las fuerzas sin tener deformaciones que afecten el correcto funcionamiento del robot. En el eje de rotación del brazo se propone colocar un agujero a lo largo del eje de giro así como una cavidad para alojar y fijar mediante tornillos el acoplamiento con los motores.

2.4.2 Juntas H

Las juntas H son los elementos de conexión entre los elementos de la cadena cinemática. Su diseño deberá ser tal que pueden ser colocados en ambos extremos de los antebrazos y unirse a la partes adyacentes mediante tornillos. El espesor está definido por el espesor del brazo.

La primera propuesta de configuración de la junta H se muestra en la figura 2.6.

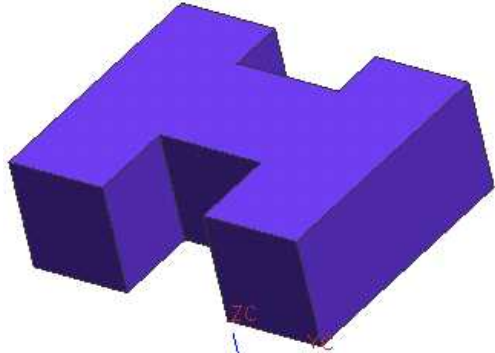


Fig. 2.6 Primera configuración de la junta H.

Como se deben agregar agujeros y cavidades para alojar los tornillos y ejes de acoplamiento, en la figura 2.7 se presenta la configuración final de las juntas, donde además se propone redondear algunos extremos para disminuir la concentración de esfuerzos.

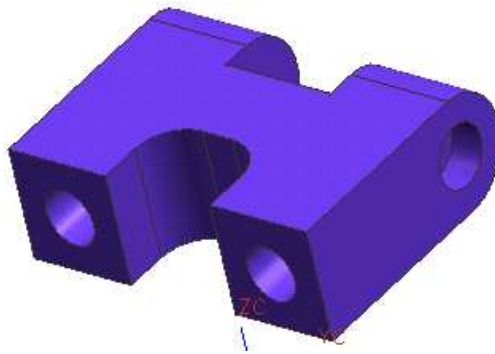


Fig. 2.7 Configuración final de la Junta H.

2.4.3 Antebrazos

Los antebrazos se integran de 4 piezas: dos juntas H, 4 juntas universales y dos barras huecas.

Juntas universales

Requerimientos:

- Tamaño reducido
- Bajo peso

Las juntas universales no serán fabricadas debido a las complicaciones que esto tiene. Por eso se buscaron alternativas entre juntas universales ya existentes en el mercado. Se encontraron dos grande ramas:

- Juntas dobles
- Juntas simples

Tanto juntas simples como dobles están disponibles en acero y plástico. Dado que se quiere disminuir el peso total del robot, las juntas de plástico son la opción a tomar en cuenta. Las juntas de plástico tienen un ángulo de operación máximo de 45° (Ver hoja de datos, anexo B).

Barras

Se propone que las barras sean huecas (disponibles en el mercado).

Considerando lo anterior, en la figura 2.8 se muestra el concepto propuesto del antebrazo.

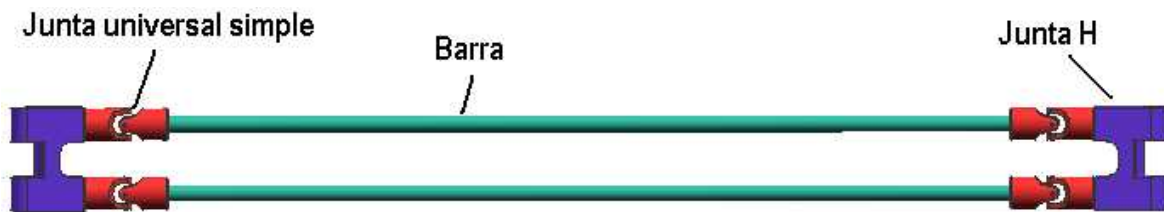


Fig. 2.8 Antebrazo.

2.4.4 Plataforma móvil

Dada la configuración del robot (ver fig. 2.2), la plataforma móvil debe tener una geometría triangular. Cada uno de los puntos de acoplamiento debe estar a 120° uno de otro. El espesor está determinado por el espesor de las juntas H y el brazo.

La primera configuración de la plataforma móvil se muestra en la figura 2.9.

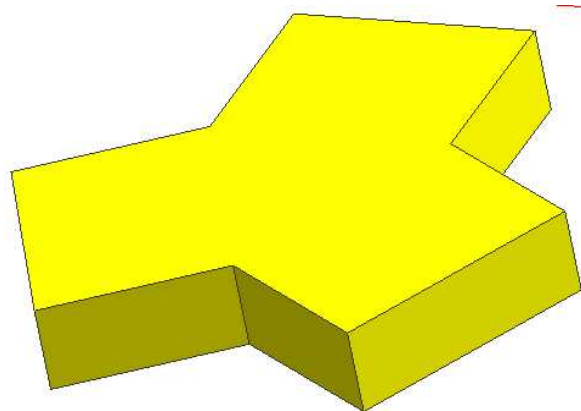


Fig. 2.9 Primera configuración de la plataforma móvil.

Para poder acoplar la plataforma móvil (fig. 2.9) a los antebrazos, se propone la configuración mostrada en la figura 2.10. También se propone un agujero en el centro para indicar la posición de un posible órgano terminal.

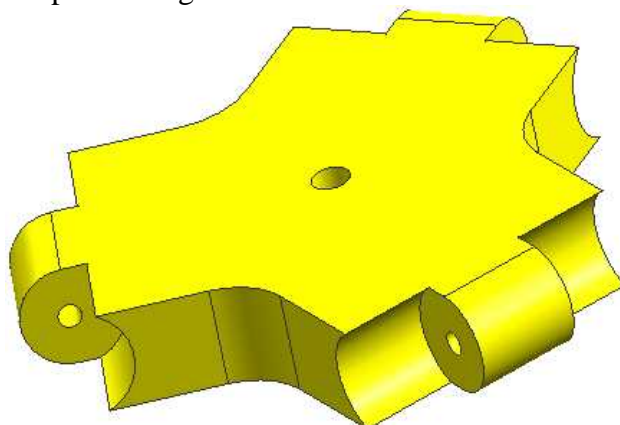


Fig. 2.10 Configuración final de la plataforma móvil.

2.4.5 Contrapesos

Para la geometría básica de los contrapesos se propone un paralelepípedo completamente sólido del mismo ancho que el brazo. Para no extender demasiado los brazos hacia arriba y evitar que estos choquen en el centro, se fabrican dos contrapesos con la finalidad de poder “doblarlos” hacia abajo del robot. En la figura 2.11 se muestra la primera configuración de los contrapesos.

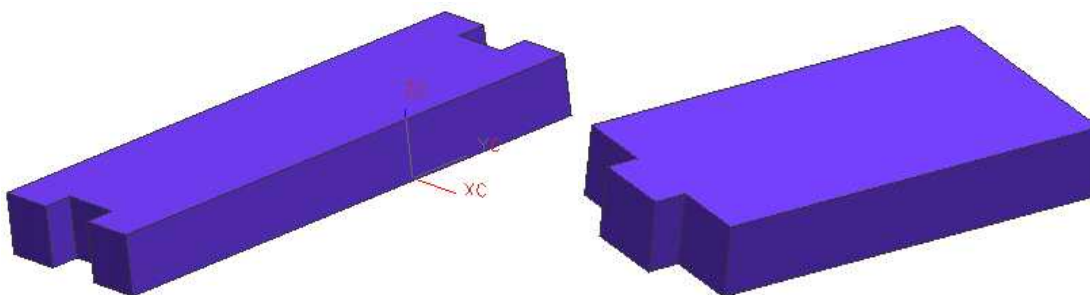


Fig. 2.11 Primera configuración de los contrapesos.

En la figura 2.12 se muestra la configuración final, considerando terminaciones para poder ser acoplados.

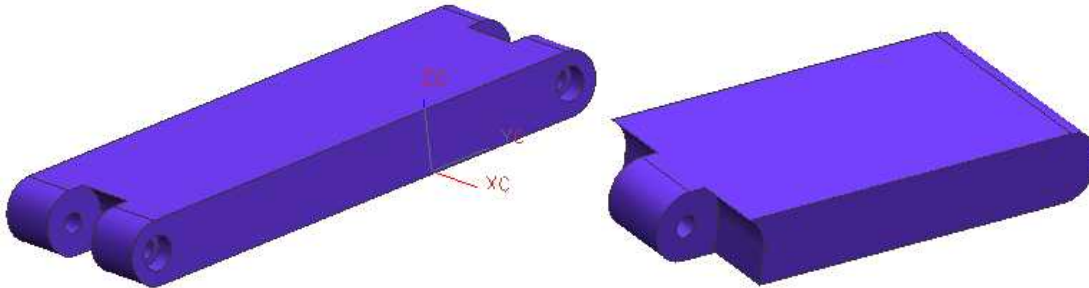


Fig. 2.12 Configuración final de los contrapesos.

Cabe destacar que se propone que el segundo contrapeso esté fabricado de acero para poder reducir la dimensión longitudinal del mismo y evitar choques con la base durante la operación del robot.

2.4.6 Base

La base fija es la estructura de la cual el robot se sujeta y permanece suspendido sobre el área de trabajo. Debido a que no se cuenta con un lugar fijo para el robot, se propone el diseño una base que puede ser colocada sobre una superficie plana. La base se divide en dos partes, la plataforma fija que sostiene al robot, y las patas que sostienen a la plataforma.

Plataforma fija

La plataforma fija debe sostener el peso de todos los componentes, se propone un espesor de placa de $\frac{3}{4}$ de pulgada.

La geometría básica de la plataforma fija debe ser un triángulo dado la geometría misma del robot delta. A éste triángulo básico se le puede quitar material de las puntas dado que no es necesario ese espacio extra. En la figura 2.14 se muestra el primer concepto propuesto para la plataforma fija.

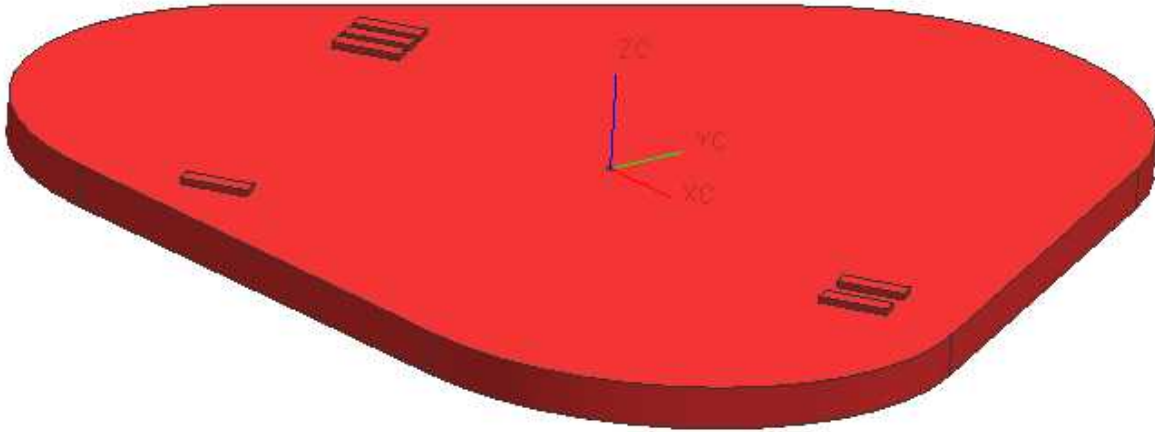


Fig. 2.13 Primera configuración de la plataforma fija.

A la forma básica se le deben hacer agujeros y cajeados para poder sujetar los elementos del robot y permitir el paso de los contrapesos, en la figura 2.14 se muestra la segunda configuración.

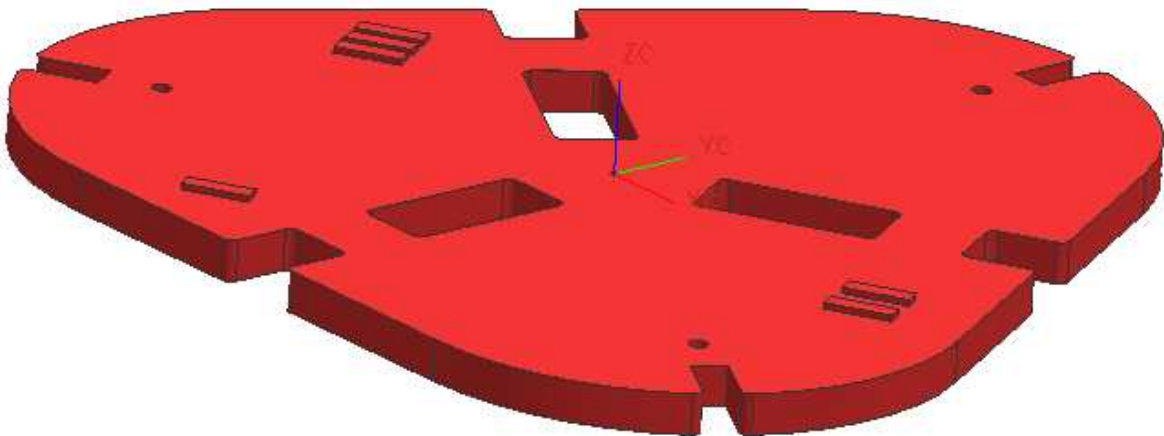


Fig. 2.14 Segunda configuración (final) de la plataforma fija.

Patas

La geometría de la patas dada la geometría de la plataforma fija no es trivial. Dado que el robot es capaz de describir trayectorias circulares mayores al tamaño de la plataforma fija, las patas no pueden ser un elemento completamente recto. Por esta razón, se propone dar un perfil curvo a cada una de las patas. La base de las patas es ancha para proporcionar buena estabilidad y el espesor de placa es de $\frac{3}{4}$ de pulgada para mayor resistencia. En la figura 2.15 se muestra la configuración de la pata.

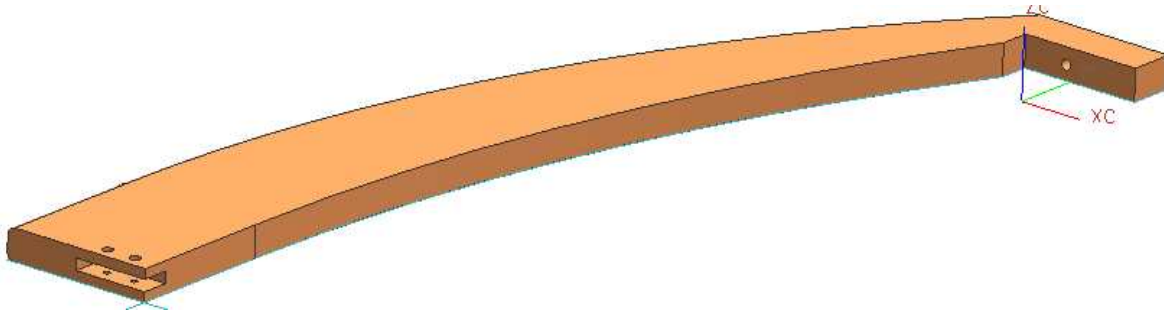


Fig. 2.15 Configuración de la pata.

Se colocan 3 patas para tener un mínimo de elementos y al mismo tiempo ser congruentes con la geometría del robot delta.

Dado que las tres patas están sometidas al peso del robot, se propone colocar tirantes que salen de cada pata y se juntan en el centro. El diseño de los tirantes es sumamente sencillo, prismas de perfil $\frac{3}{4} \times \frac{3}{4}$ que se atornillan a cada una de las patas y al centro con un conector en delta. En la figura 2.16 se muestran los tirantes y en la figura 2.17 se muestra el conector delta.

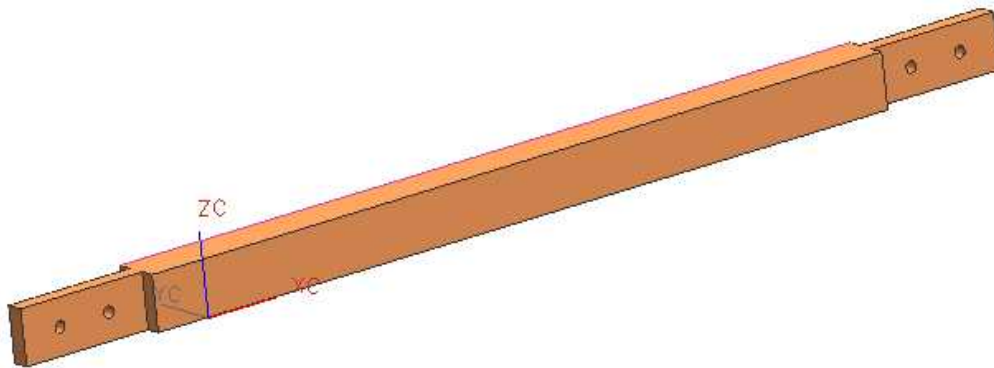


Fig. 2.16 Tirante.

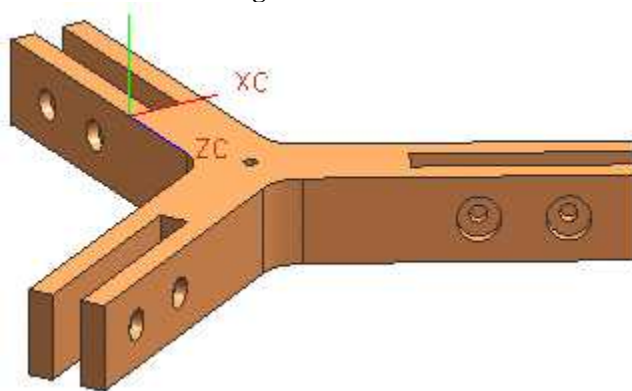


Fig. 2.17 Conector delta.

2.4.7 Cople

La geometría básica para un cople es un cilindro con un agujero en el centro y tornillos prisioneros para fijar los ejes que se van a acoplar. En este caso, el cople deberá ir

atornillado directamente al brazo entrando en la cavidad dispuesta en el diseño del brazo. La geometría básica propuesta para el cople se muestra en la figura 2.18.

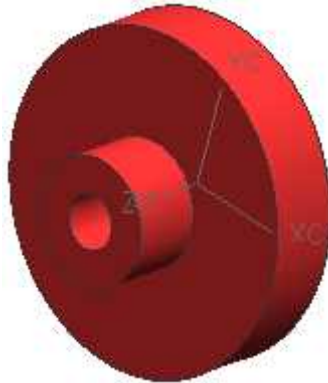


Fig. 2.18 Cople cilíndrico.

Ya que no es necesario tener todo el cilindro, se propone rebajar por ambos lados hasta llegar a un espesor equivalente al del brazo. El cople queda finalmente como se ve en la figura 2.19.

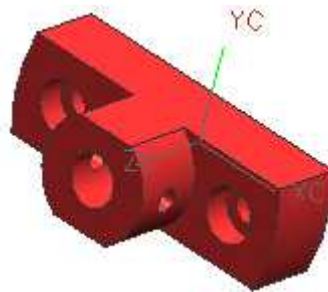


Fig. 2.19 Cople final.

2.4.8 Soporte

Para el soporte se propone una geometría sencilla que cumpla con las restricciones. Ver figura 2.20.

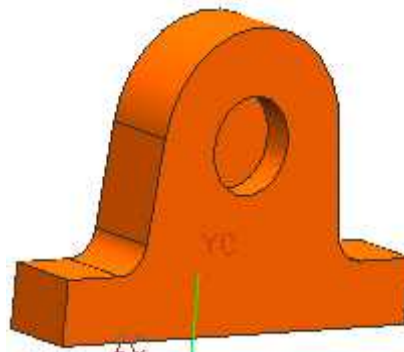


Fig. 2.20 Soporte.

2.5 Ensamble

Finalmente en la figura 2.21 se muestra el ensamble de todas las partes propuestas para el Robot Delta.

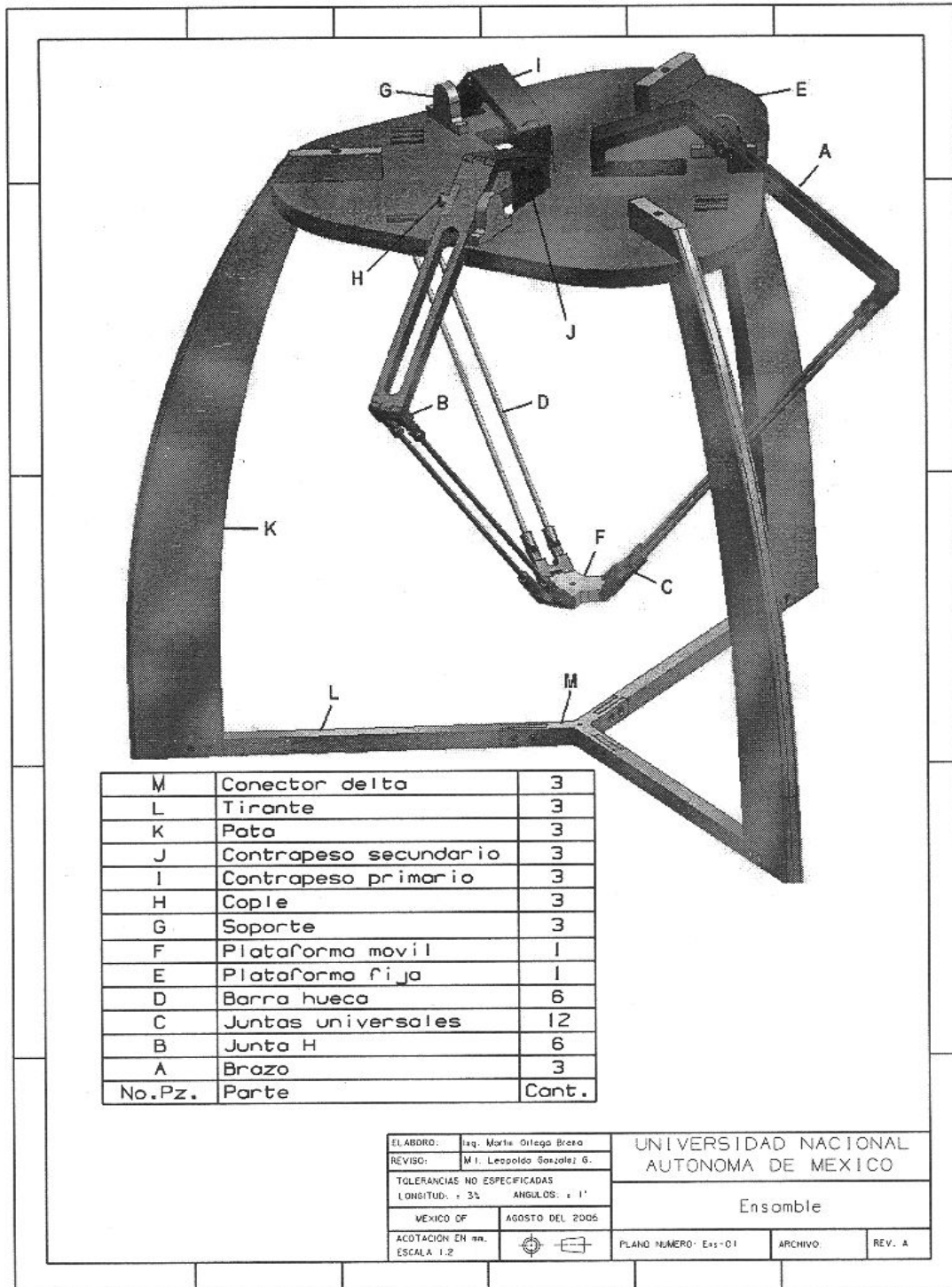


Fig. 2.21 Plano de ensamble

Capítulo 3

Diseño de detalle

Este capítulo se refiere a la utilización del análisis asistido por computadora para verificar el correcto funcionamiento de las partes propuestas en el diseño conceptual.

El análisis asistido por computadora tiene la finalidad de detectar problemas y entregar información importante acerca del comportamiento estático y dinámico del robot.

Para la realización de los análisis se utilizó el mismo programa con el que se modelaron las piezas, Unigraphics. El programa cuenta con un módulo de análisis dinámico, llamado “Motion”, y un módulo de análisis estructural por elemento finito, llamado “Structures”.

3.1 Análisis dinámico

El módulo de Motion tiene la capacidad de entregar información de posición, velocidad, aceleración y fuerza de elementos del mecanismo. Primeramente, se realiza el análisis de movimiento para determinar o detectar las siguientes características:

- Cálculo de contrapesos
- Interferencias en las articulaciones
- Interferencias entre cadenas cinemáticas y base
- Área de trabajo
- Par necesario en los motores
- Aceleración de la plataforma móvil
- Fuerzas de reacción en articulaciones

3.1.1 Especificaciones para el análisis

A continuación se describen cada uno de los eslabones y articulaciones involucrados en el movimiento.

El robot tiene tres cadenas cinemáticas iguales, las cuales se componen de:

Eslabón 1: brazo, contrapesos, junta H y dos juntas universales (ver figura 3.1).

Eslabón 2: 4 juntas universales y dos barras (ver figura 3.2).

Eslabón 3: plataforma móvil, junta H y dos juntas universales (ver figura 3.3).



Fig. 3.1 Eslabón 1.

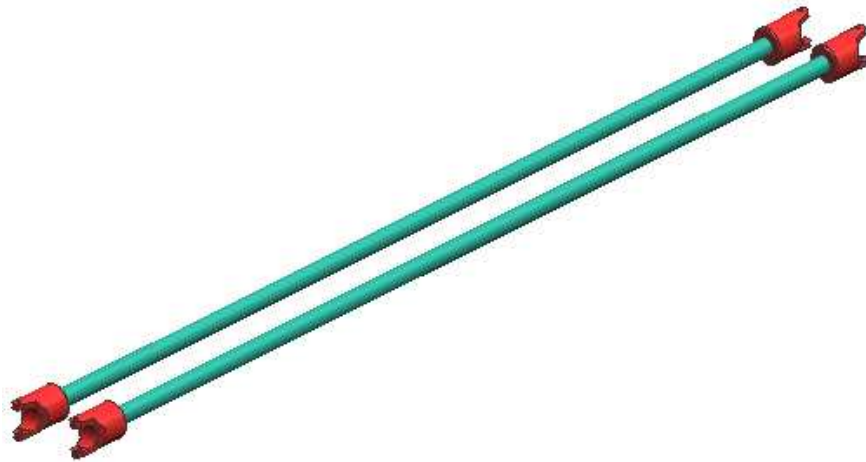


Fig. 3.2 Eslabón 2.

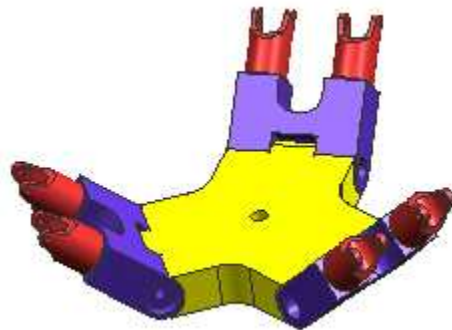


Fig. 3.3 Eslabón 3.

Cada cadena cinemática tiene las siguientes articulaciones:

Articulación 1: 1 de revolución en el brazo (ver figura 3.4).

Articulación 1: 2 universales entre brazo y antebrazo (ver figura 3.5).

Articulación 3: 2 universales entre antebrazo y plataforma móvil (ver figura 3.6).

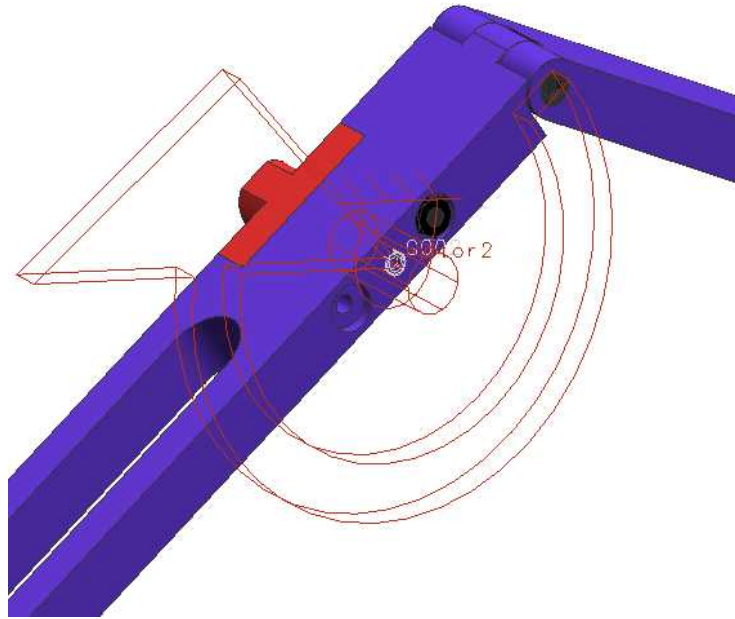


Fig. 3.4 Articulación 1.

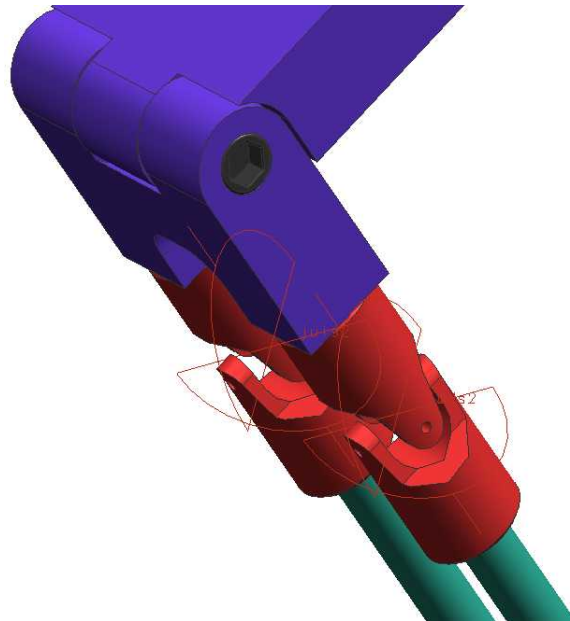


Fig. 3.5 Articulación 2.

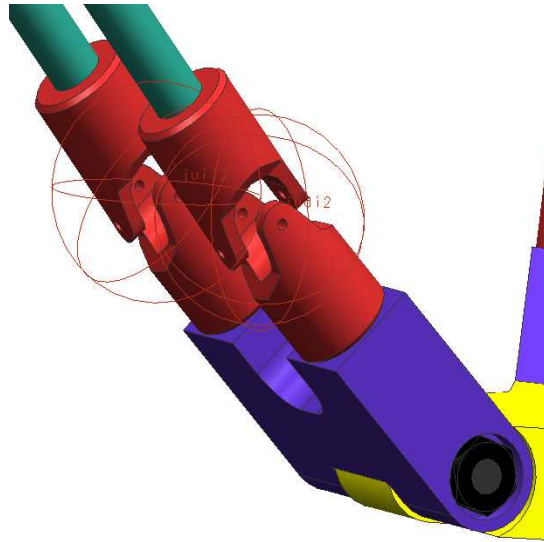


Fig. 3.6 Articulación 3.

Cada uno de los elementos, eslabones y articulaciones, se seleccionan e introducen en el programa. Las articulaciones rotacionales pueden ser declaradas como motores, ya que todo mecanismo basa su movimiento en un actuador rotacional o traslacional. Esto quiere decir que se puede introducir un movimiento constante o alguna función dependiente del tiempo.

En la figura 3.7 aparecen los elementos que conforman el análisis.

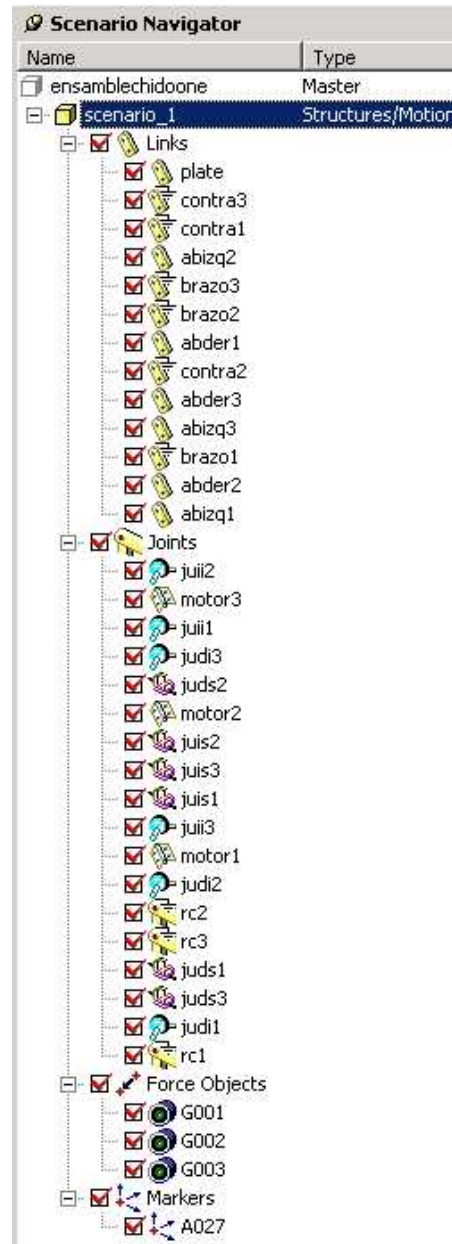


Fig. 3.7 Elementos del análisis

De donde:

- Links - eslabones
- Plate – plataforma móvil
- Contra – contrapeso
- Abizq – antebrazo izquierdo
- Abder – antebrazo derecho
- Brazo – brazo

Joints – articulaciones
Juii – junta universal izquierda inferior
Juis – junta universal izquierda superior
Judi – junta universal derecha inferior
Juds – junta universal derecha superior
Motor – articulaciones actuadas en los brazos
Rc – articulación fija entre contrapesos

Force Objects – objetos fuerza
G00x – bujes en motores

Markers – marcadores
A027 – marcador en el centro de la plataforma móvil

Se puede observar que las juntas universales inferiores tienen otro ícono. En realidad estas seis juntas inferiores están declaradas dentro del programa como si fueran esféricas porque el robot tiene la necesidad de un grado de libertad extra en esas articulaciones. Si las juntas se declaran como universales, la simulación no se ejecuta debido a que se presenta un error en la matriz de solución. Las inercias generadas por el movimiento llevan a la necesidad de un grado más de libertad. Sin embargo, análisis cinemáticos en robots paralelos delta muestran que el desplazamiento angular en el tercer eje de rotación de la junta esférica es cero y por tanto despreciable [2]. Esto se demuestra más adelante en el apartado de la trayectoria circular.

3.1.2 Cálculo de contrapesos

La finalidad de los contrapesos “I” y “J” (ver figura 2.21) es mantener al robot en un estado de reposo equilibrado, esto quiere decir que la gravedad no provoque que los brazos queden completamente extendidos. Los contrapesos también sirven para disminuir el torque necesario en los motores.

Para obtener las dimensiones de los contrapesos se determinó primeramente el material de cada uno de ellos. El primer contrapeso tiene la finalidad de generar un brazo de palanca para el segundo contrapeso. El material del primer contrapeso se propone sea nylon porque éste tan sólo tiene la función de soporte para el segundo contrapeso. El tener mucho peso en este primer contrapeso tendría como consecuencia que para una posición donde el brazo quede en posición vertical, el peso del contrapeso se agregaría al del robot y dejaría de realizar su función.

El segundo contrapeso que cuelga al final del primero, se propone sea de acero para permitir que las dimensiones del segundo contrapeso sean más pequeñas. Se fijaron el ancho y espesor del contrapeso, por lo que la única medida que puede variar es el largo del mismo.

Se busca que la posición de reposo del robot sea en donde todas las juntas universales se encuentran rectas a 180° . Para esto, en la simulación se declaran a las articulaciones de los motores como libres, esto es, que no están sujetas a ningún actuador. Dado que las articulaciones en el simulador son ideales (no se considera la fricción) es necesario agregar unos elementos que entreguen fricción rotativa en el programa. En la figura 3.8 se observan las propiedades del elemento G001.

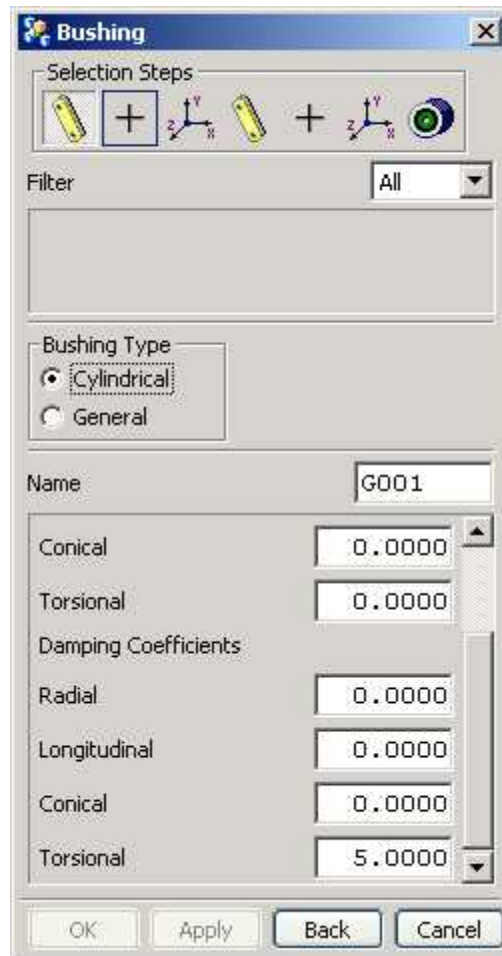
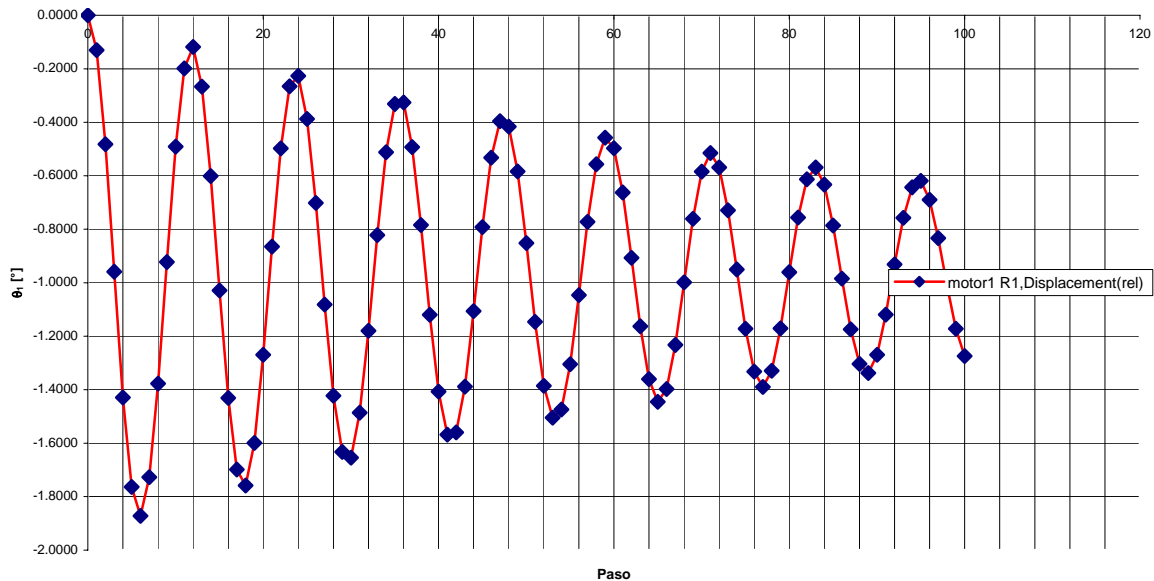


Fig. 3.8 Propiedades de G001.

Al correr la simulación, la gravedad actúa sobre el robot y extiende las cadenas cinemáticas. El largo del contrapeso secundario se fue variando paramétricamente buscando que el desplazamiento angular de los motores se estabilizara cerca de cero grados como se muestra en gráfica 3.1.

La gráfica se obtuvo después de varias iteraciones en el largo del contrapeso secundario. La dimensión del largo para lograr el equilibrio fue de 60 mm. Lo que esto garantiza, es que el par necesario en los motores para mantener el robot en la posición de diseño es cero.



Gráfica 3.1 Estabilización con contrapesos.

3.1.3 Interferencias

Debido a la geometría del robot delta, se observa que los elementos que primero hacen interferencia son las juntas universales. Por su geometría, las juntas universales tienen un límite de giro de 45° .

Dado que las tres cadenas cinemáticas son iguales, tan solo es necesario hacer el análisis en una de ellas. Para esto, se movió un motor libremente de 5 grados en 5 grados. El programa indica en que momento existe interferencia y devuelve el valor de desplazamiento angular para el cual se registro el evento.

Cabe aclarar que la posición inicial del robot es la posición de ensamble, esto es, todas las juntas se encuentran completamente rectas. En esta posición, cada brazo del motor puede moverse ya sea hacia arriba o hacia abajo.

El evento de interferencia en las juntas universales ocurrió para un desplazamiento angular de 39.5 grados en ambas direcciones. Con este dato se sabe que en cualquier movimiento que realice el robot, los brazo no podrán exceder un desplazamiento de 39.5 grados en ambas direcciones.

3.1.4 Datos dinámicos en trayectoria recta

Para poder realizar una trayectoria recta en la simulación del robot, es necesario realizar la cinemática inversa para poder obtener las coordenadas articulares.

Para la realización de la cinemática inversa se utilizan las siguientes ecuaciones [2]:

$$A_{1i} = 2(d_{2i}d_{4i} + d_{6i}z_p + d_{13i}d_{6i}c\delta_{15i} - d_{4i}(x_p c\delta_{1i} + c(\delta_{16i} - \delta_{1i})(d_{17i} + d_{13i}s\delta_{15i}) + d_{14i}s(\delta_{16i} - \delta_{1i}) + y_p s\delta_{1i})) \quad \dots (4.1)$$

$$B_{1i} = 2(-d_{2i}d_{6i} + d_{4i}z_p + d_{13i}d_{4i}c\delta_{15i} + d_{6i}(x_p c\delta_{1i} + c(\delta_{16i} - \delta_{1i})(d_{17i} + d_{13i}s\delta_{15i}) + d_{14i}s(\delta_{16i} - \delta_{1i}) + y_p s\delta_{1i})) \quad \dots(4.2)$$

$$C_{1i} = d_{13i}^2 + d_{14i}^2 + d_{17i}^2 + d_{2i}^2 + d_{4i}^2 + d_{5i}^2 + d_{6i}^2 - d_{9i}^2 + x_p^2 + y_p^2 + z_p^2 + 2(d_{17i}x_p - d_{14i}y_p)c\delta_{16i} - 2(d_{17i}d_{2i} + d_{14i}d_{5i})c(\delta_{16i} - \delta_{1i}) - 2d_{2i}x_p c\delta_{1i} + 2d_{5i}y_p c\delta_{1i} + 2(d_{13i}z_p c\delta_{15i} + d_{14i}x_p s\delta_{16i} + d_{17i}y_p s\delta_{16i} - d_{14i}d_{2i}s(\delta_{16i} - \delta_{1i}) + d_{17i}d_{5i}s(\delta_{16i} - \delta_{1i}) + d_{13i}s\delta_{15i}(d_{17i} + x_p c\delta_{16i} - d_{2i}c(\delta_{16i} - \delta_{1i}) + y_p s\delta_{16i} + d_{5i}s(\delta_{16i} - \delta_{1i})) - (d_{5i}x_p + d_{2i}y_p)s\delta_{1i}) \quad \dots(4.3)$$

$$\theta_{3i} = \arctan\left(\frac{B_{1i}}{A_{1i}}\right) \pm \arccos\left(\frac{C_{1i}}{\sqrt{A_{1i}^2 + B_{1i}^2}}\right) \quad \dots(4.4)$$

De donde (ver figura 3.9 y 3.10):

d_{2i} : es la distancia del centro de la plataforma fija al eje de giro del brazo i .

d_{4i} : es la distancia desde el eje de giro del brazo i al eje de acoplamiento de la junta H superior del brazo i .

d_{5i} : es la distancia medida desde el punto central del eje de acoplamiento de la junta H superior del brazo i hasta el eje axial de alguna de la juntas universales superiores del brazo i .

d_{6i} : es la distancia del eje de acoplamiento de la junta H superior del brazo i al eje de giro de las juntas universales superiores del brazo i .

d_{9i} : es la distancia entre los ejes de giro de la juntas universales superiores y las inferiores del brazo i .

d_{13i} : es la distancia del eje de giro de las juntas universales inferiores del brazo i al eje de acoplamiento de la junta H inferior del brazo i .

d_{14i} : es la distancia medida desde el eje axial de alguna de la juntas universales inferiores del brazo i hasta el punto central del eje de acoplamiento de la junta H inferior del brazo i .

d_{17i} : es la distancia entre el eje de acoplamiento de la junta H inferior del brazo i y el centro de la plataforma móvil.

δ_{1i} : es el ángulo que forma el brazo i con un eje de referencia inicial.

δ_{15i} : es el ángulo que forma la junta H inferior del brazo i con la plataforma móvil.

δ_{16i} : es el ángulo que forma el puerto del brazo i en la plataforma móvil con un eje de referencia inicial.

θ_{3i} : es la coordenada articular del brazo i .

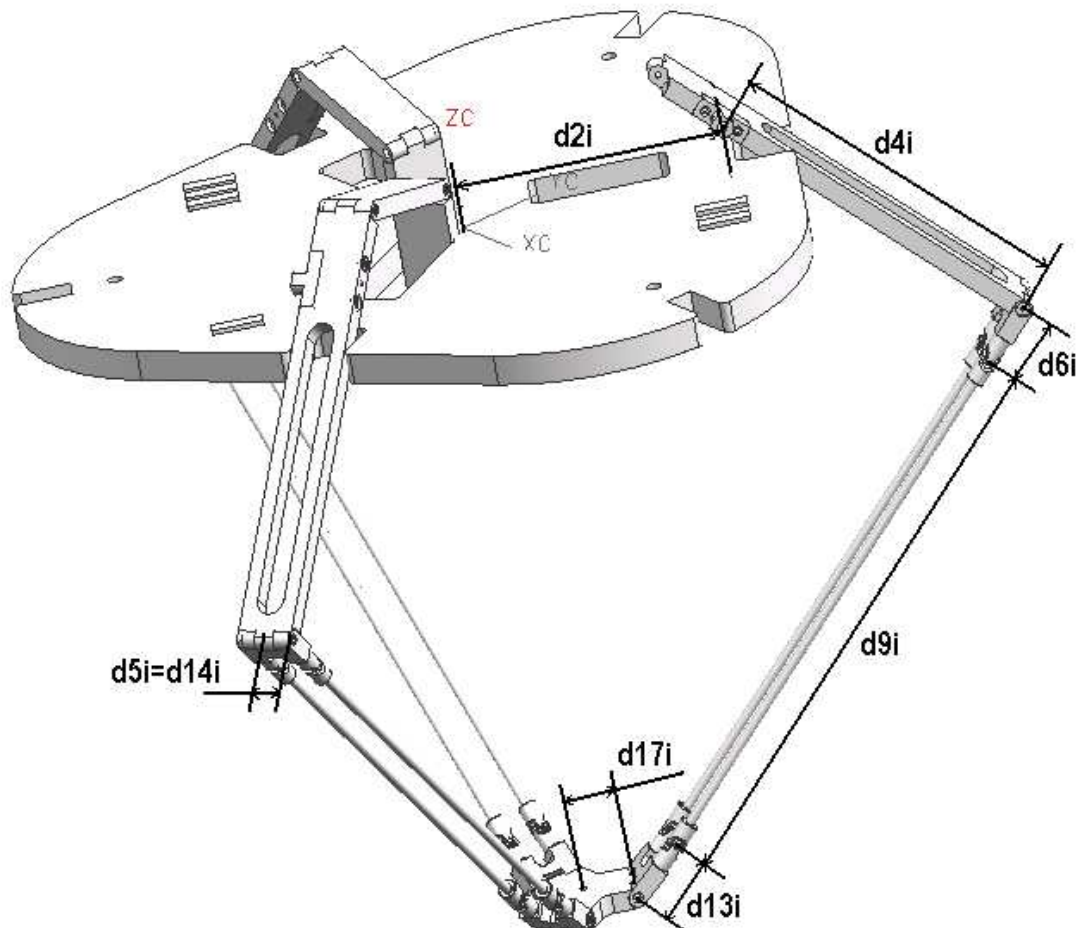


Fig. 3.9 Dimensiones lineales.

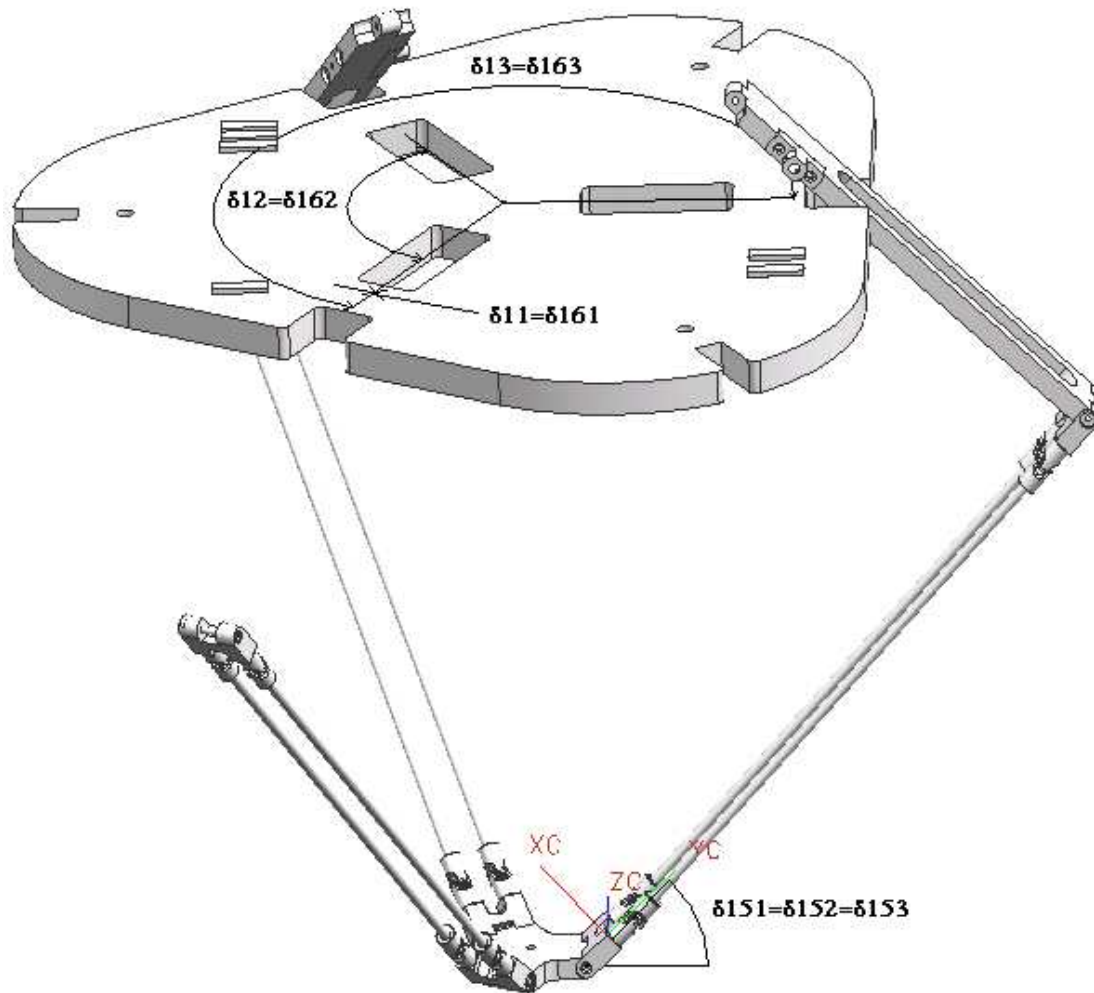


Fig. 3.10 Dimensiones angulares.

Los valores para cada una de las variables antes descritas se obtienen del modelo CAD y se muestran en la tabla 3.1.

Variable	Dimensión [mm]
d_{2x}	183.41234
d_{4x}	243.5
d_{5x}	13.5
d_{6x}	41.2211457
d_{9x}	385.529615
d_{13x}	41.2211457
d_{14x}	13.5
d_{17x}	35.0470054

Variable	Dimensión [rad]
δ_{11}	0
δ_{151}	0.78539816
δ_{161}	0
δ_{12}	4.1887902
δ_{152}	0.78539816
δ_{162}	4.1887902
δ_{13}	2.0943951
δ_{153}	0.78539816
δ_{163}	2.0943951

Tabla 3.1 Valores de variables para la simulación.

Los valores de la tabla 3.1 se introducen al programa como funciones individuales para cada uno de los tres motores para obtener las coordenadas articulares a partir de las

coordenadas de la plataforma móvil. El código introducido al programa se muestra en el anexo C.

Para realizar una trayectoria recta es necesario introducir la ecuación paramétrica de la recta en tres dimensiones.

$$X = x_0 + (x_1 - x_0) * \text{parámetro}$$

$$Y = y_0 + (y_1 - y_0) * \text{parámetro}$$

$$Z = z_0 + (z_1 - z_0) * \text{parámetro}$$

De donde:

X, Y y Z: son las coordenadas generalizadas del robot

x_0 , y_0 y z_0 : punto inicial de la recta

x_1 , y_1 y z_1 : punto final de la recta

Parámetro: en este caso se utiliza el tiempo de la simulación como parámetro.

Los datos utilizados en la simulación se muestran en la tabla 3.2.

X_0	240	X_1	-240
y_0	0	Y_1	0
Z_0	-452	Z_1	-452

Tabla 3.2 Datos para simulación.

Como el robot delta que se está diseñando tiene masa y por lo tanto tiene momentos inerciales, es necesario suavizar la función de velocidad del robot. Para esto la ecuación paramétrica debe contener un perfil de velocidad polinomial. Las ecuaciones de perfil de velocidad de quinto grado quedan de la siguiente forma:

$$X = x_0 + (x_1 - x_0) * (10 * t^3 - 15 * t^4 + 6 * t^5)$$

$$Y = y_0 + (y_1 - y_0) * (10 * t^3 - 15 * t^4 + 6 * t^5)$$

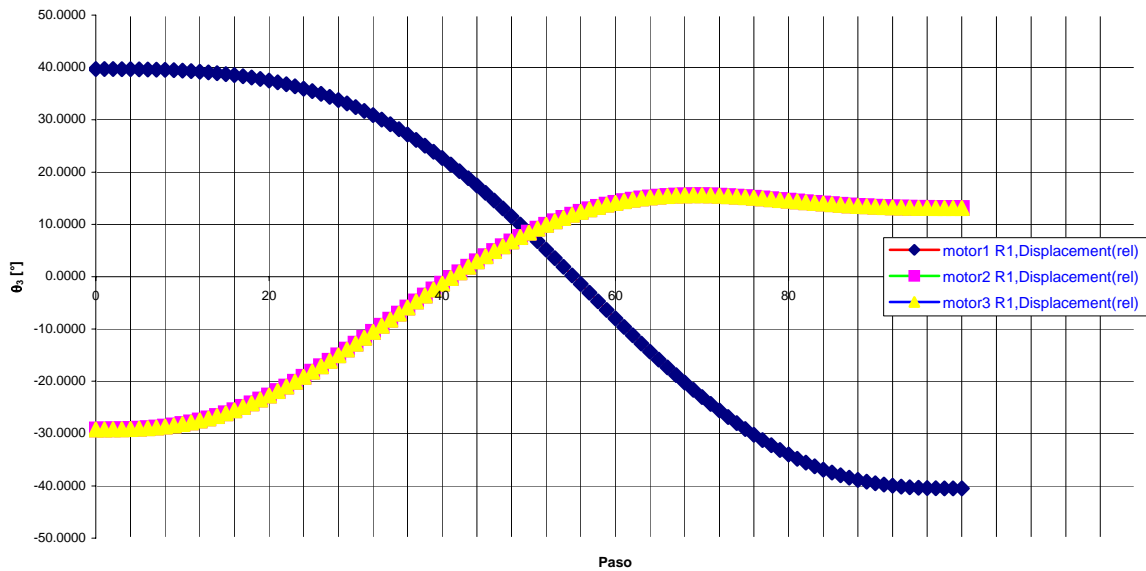
$$Z = z_0 + (z_1 - z_0) * (10 * t^3 - 15 * t^4 + 6 * t^5)$$

Donde t es el tiempo.

Una vez que se tienen todos los datos y consideraciones, se realizan las simulaciones. El modelo se corrió en tres ocasiones, o sea, se realizó la misma trayectoria recta en tres diferentes tiempos: un segundo, medio segundo y un cuarto de segundo.

La gráfica 3.2 es la del desplazamiento de los motores durante la trayectoria. En el eje de las abscisas se encuentra el paso del mecanismo. Esto quiere decir el tiempo total de la trayectoria es dividido en pasos, en este caso 100 pasos. Todas las trayectorias fueron simuladas con 100 pasos.

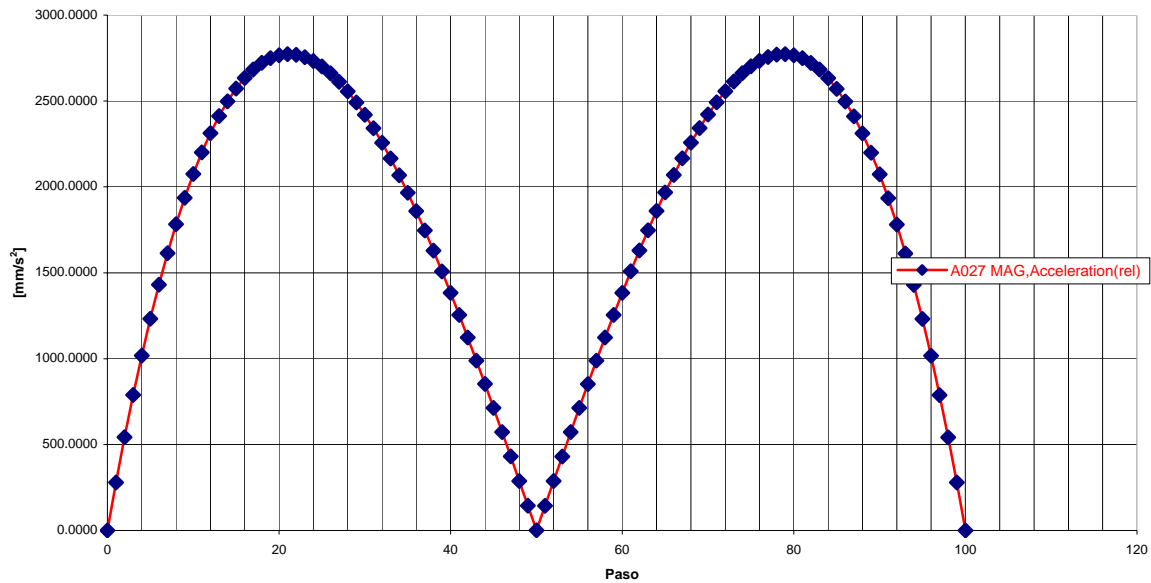
En la gráfica se puede observar que para la recta que se planteó, en ningún momento los motores exceden los 40° de desplazamiento. Esto quiere decir que no existe interferencia en las juntas universales.



Gráfica 3.2 Desplazamiento angular de los motores.

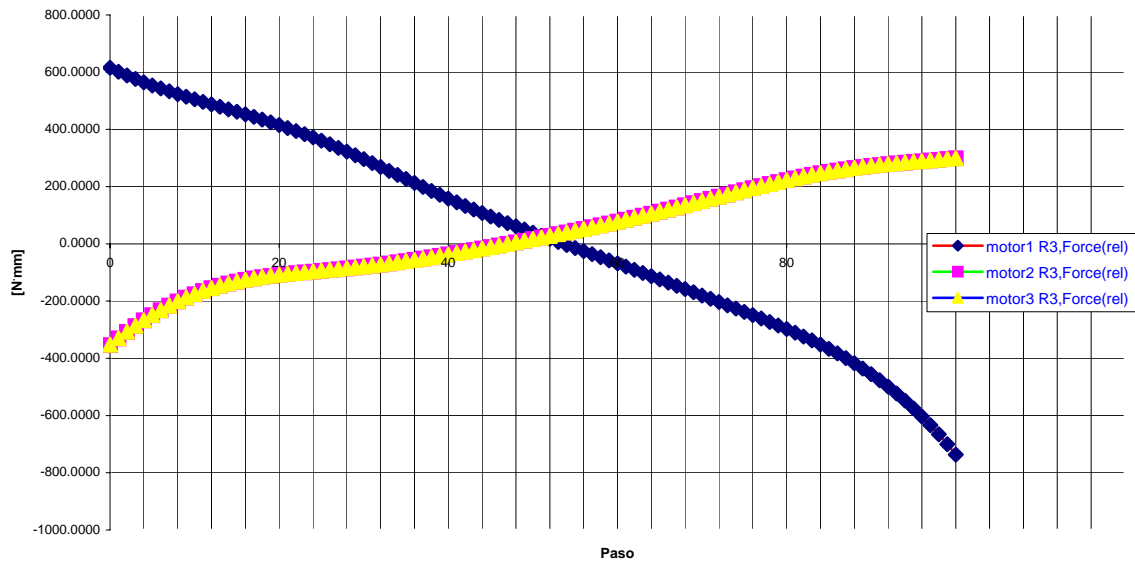
Las gráficas 3.3 y 3.4 corresponden a la trayectoria recta realizada en un tiempo de un segundo. Los datos que nos interesan son la aceleración de la plataforma y el torque necesario de los motores.

En la gráfica 3.2 se observa que sólo existen aceleraciones positivas. Esto se debe a que se está graficando el valor absoluto de la aceleración. En realidad la segunda mitad de la gráfica es desaceleración. El valor de aceleración para esta trayectoria es de aproximadamente 0.3G.



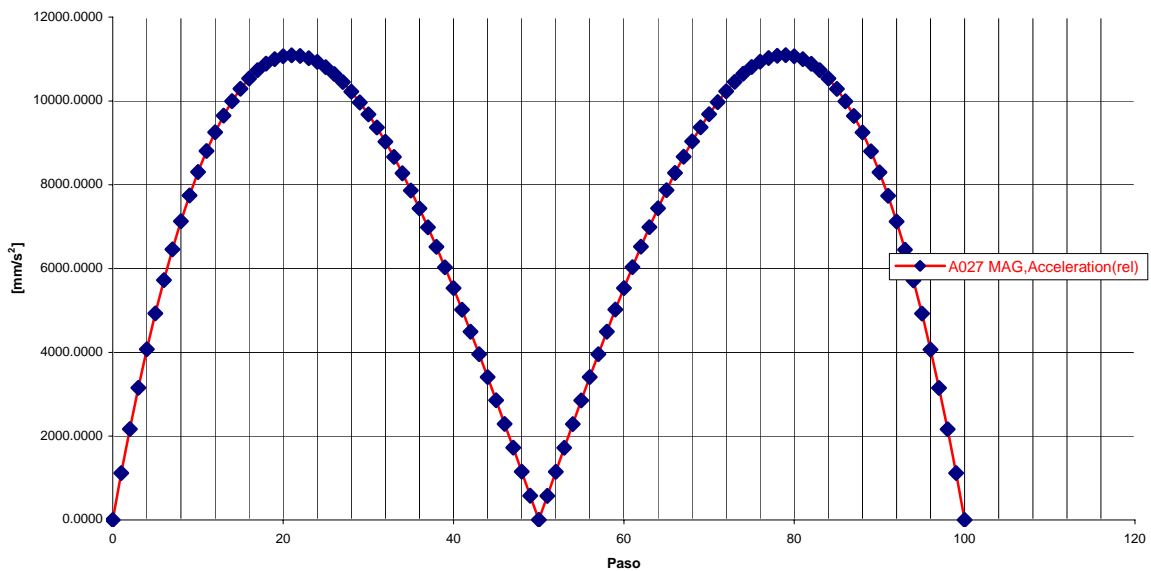
Gráfica 3.3 Aceleración de la plataforma móvil para un segundo.

En la gráfica 3.4, referente a los torques, se puede observar que existe una parte positiva y una negativa. Esto es gracias a los contrapesos. De no existir los contrapesos, los torques serían exclusivamente positivos por lo que serían mayores. La acción de los contrapesos es bajar los torques haciendo algunos negativos. En términos de motores, se reduce el par necesario en cada motor. Lo que cambia es que para ciertos puntos de la trayectoria el motor deberá ejercer el par en sentido contrario. Para esta trayectoria el par no excede los 0.736 [Nm].



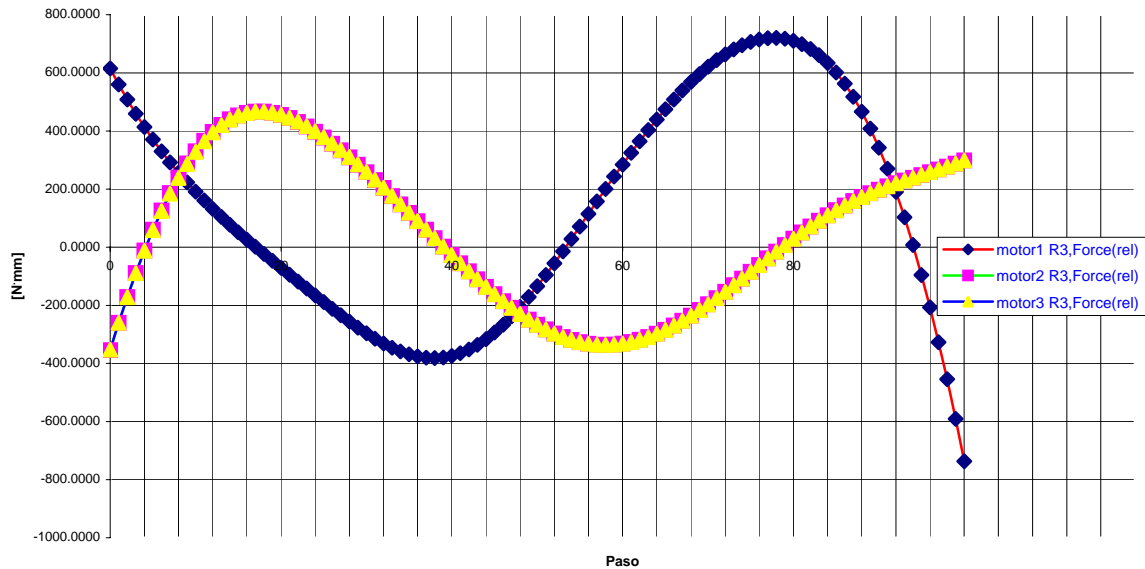
Gráfica 3.4 Torques en motores para un segundo.

En el caso de la trayectoria recta en medio segundo (gráficas 3.5 y 3.6), se observa que las aceleraciones aumentan. Ahora el valor de la aceleración máxima es de aproximadamente 1.13G. La curva de la gráfica 3.5 es similar a la gráfica 3.3 en forma pero aumentan los valores.



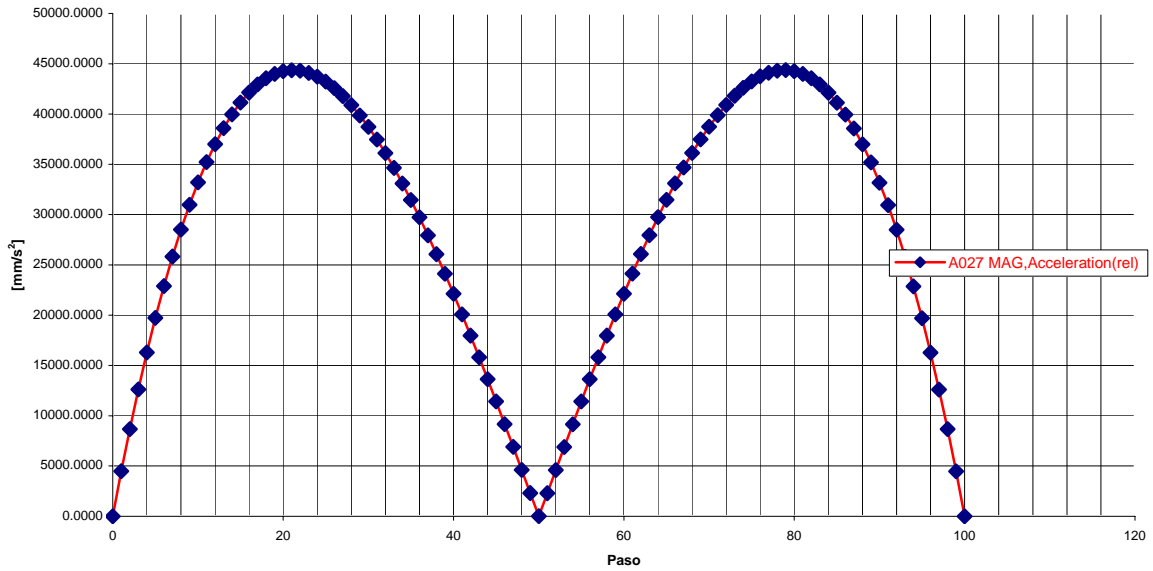
Gráfica 3.5 Aceleración de la plataforma móvil para medio segundo.

A diferencia de la aceleración, las curvas de torque de la gráfica 3.6 varían considerablemente en su forma respecto a la gráfica 3.4. A pesar de que el par máximo es prácticamente igual a la trayectoria en un segundo, se presentan otros picos de torque. Esto se debe a que el robot se mueve más rápido y por lo tanto los momentos inerciales a lo largo de la trayectoria aumentan. El par máximo es aproximadamente de 0.73 [Nm].



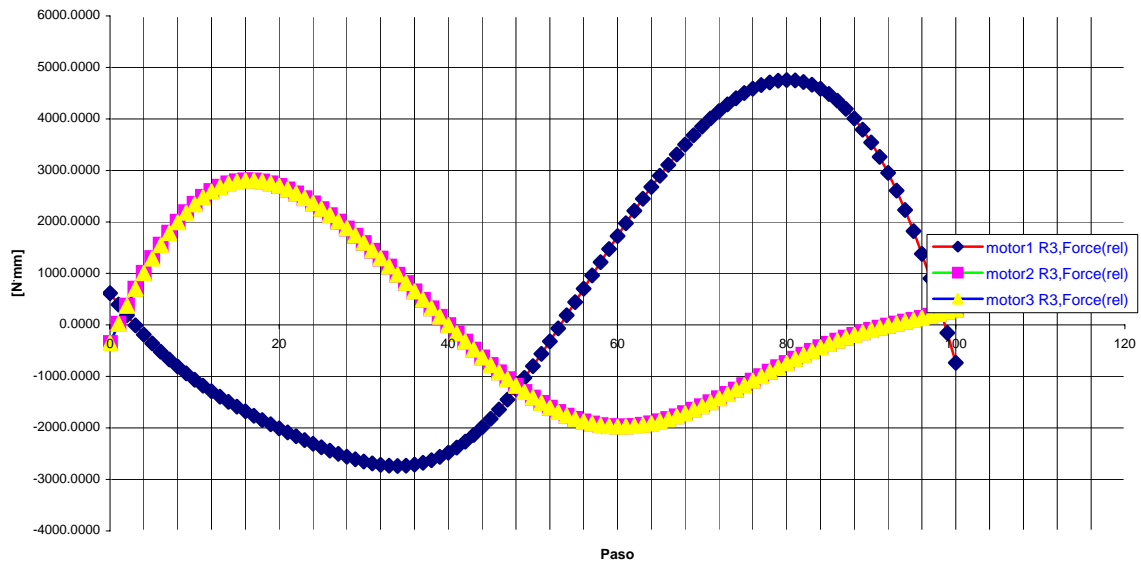
Gráfica 3.6 Torques en motores para medio segundo.

En el caso de que la trayectoria recta se realice en 0.25 segundos (gráficas 3.7 y 3.8), la aceleración de la plataforma móvil aumenta considerablemente. La forma de la curva sigue siendo la misma que en las gráficas 3.5 y 3.3. La aceleración máxima es ahora de 4.5G.



Gráfica 3.7 Aceleración de la plataforma móvil para un cuarto de segundo.

Ahora los torques en la gráfica 3.8 para 0.25 segundos son similares en forma a los obtenidos en la gráfica 3.6. Lo que cambia son los valores de los mismos que ahora son mucho mayores. El par máximo que se tiene para esta simulación es de aproximadamente 4.7 [Nm], mas de 6 veces el valor de los resultados anteriores.



Gráfica 3.8 Torques en motores para un cuarto de segundo.

3.1.5 Datos dinámicos en trayectoria circular

Para la trayectoria circular se utilizan las ecuaciones 4.1 a 4.4 de cinemática inversa utilizadas en la trayectoria recta. Lo que cambia es la función de la trayectoria en sí. La ecuación de la trayectoria circular se presenta a continuación:

$$X = r * \cos(2\pi * \text{parámetro})$$

$$Y = r * \text{sen}(2\pi * \text{parámetro})$$

$$Z = \text{constante}$$

Donde r es el radio del círculo.

Al igual que en la trayectoria recta, es necesario suavizar el perfil de velocidad, por lo cual se utiliza el mismo perfil de quinto grado, quedando de la siguiente manera:

$$X = r * \cos(\text{Arg})$$

$$Y = r * \text{sen}(\text{Arg})$$

$$Z = z_0$$

$$\text{Arg} = 2\pi * (10 * t^3 - 15 * t^4 + 6 * t^5)$$

Para las simulaciones se tienen los siguientes datos:

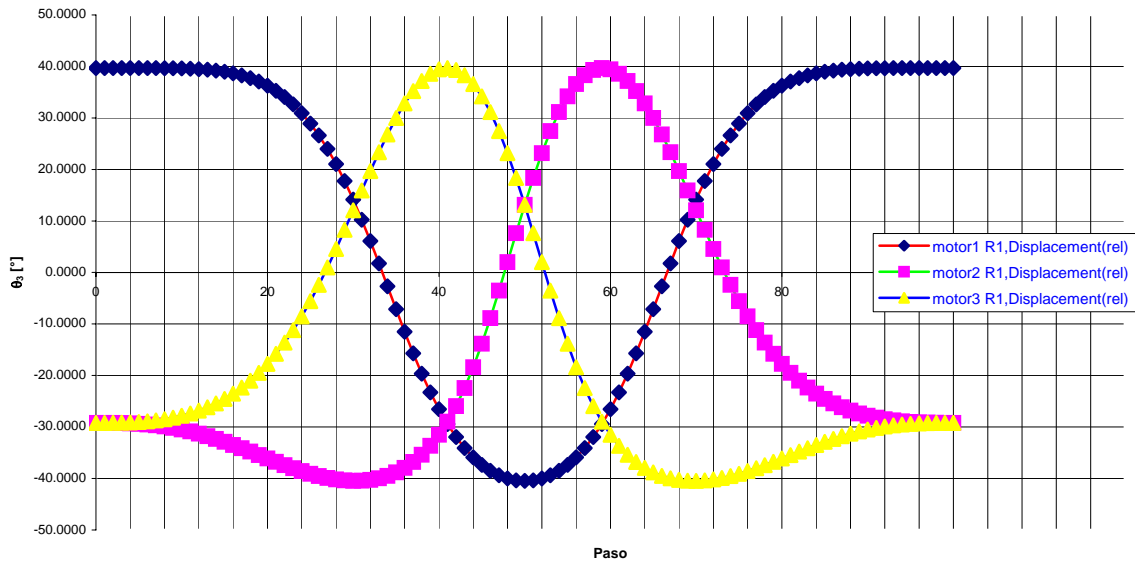
$$r = 240 \text{ [mm]}$$

$$Z_0 = -452 \text{ [mm]}$$

Estos valores corresponden al círculo de mayor radio que el robot puede realizar (volumen de trabajo). Para obtener estos datos se llevaron los tres brazos al límite de desplazamiento sin interferencia.

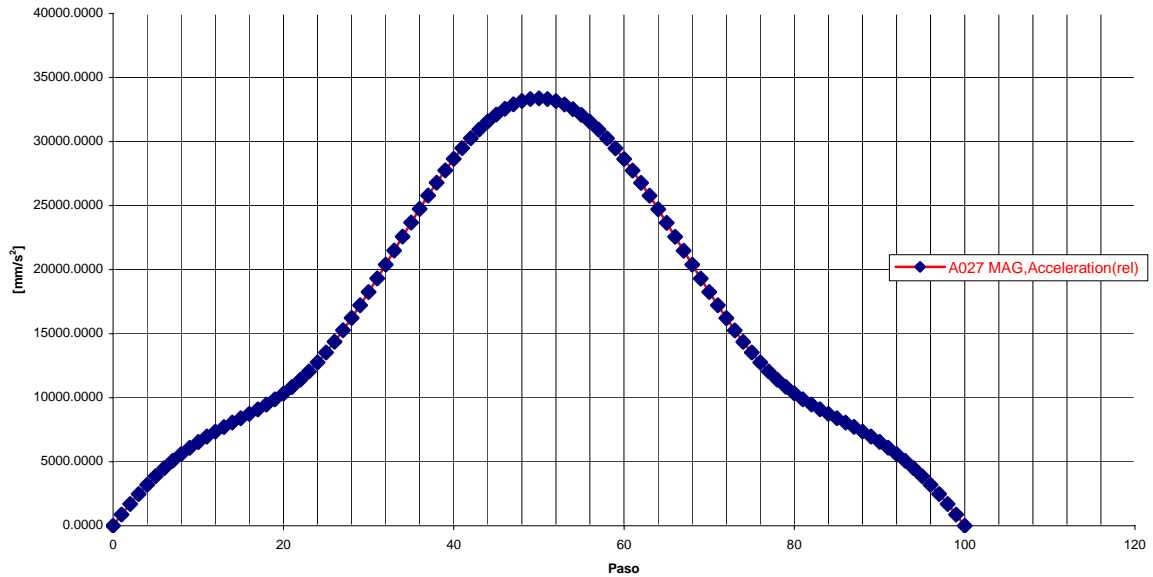
Al igual que en la trayectoria recta se hicieron tres simulaciones para tres diferentes tiempos, un segundo, medio segundo y un cuarto de segundo. Los primeros resultados que se obtuvieron fueron los desplazamientos angulares de los motores para corroborar que no se presenta interferencia.

En la gráfica 3.9 se observa que en ningún momento de la trayectoria el valor de desplazamiento supera los 40°. Esto indica que no hay interferencia en las juntas universales.



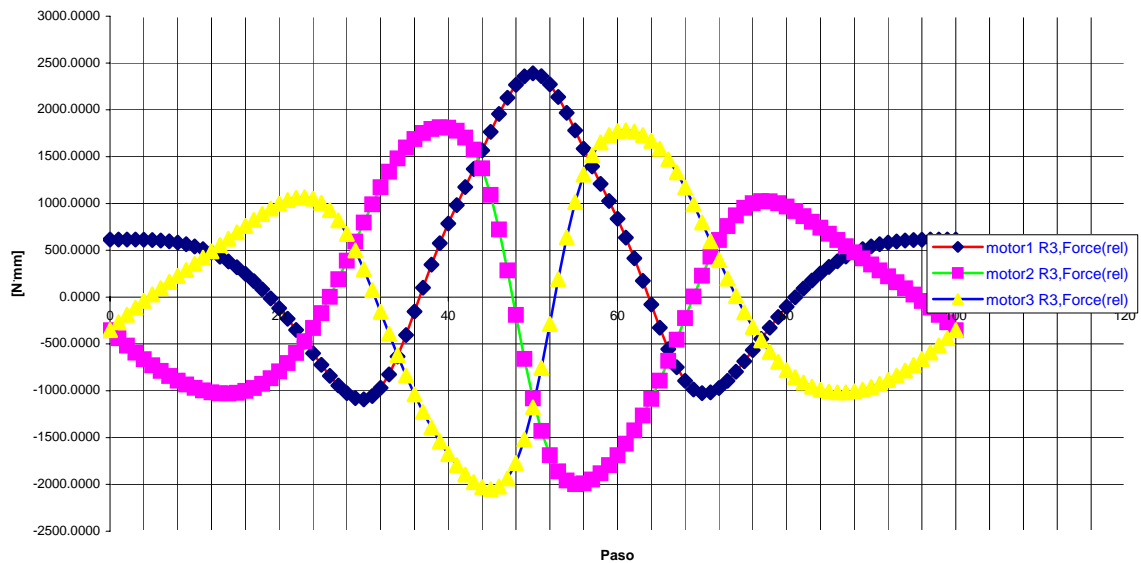
Gráfica 3.9 Desplazamiento angular de motores.

En la gráfica 3.10 de aceleración para la trayectoria circular en un segundo se observa una fase de aceleración y una fase de desaceleración. A diferencia de la trayectoria recta, la curvatura es menor, por lo que se podría considerar que los cambios en aceleración son más suaves. Sin embargo, dado que el círculo trazado es la trayectoria máxima posible, los valores de aceleración son mucho mayores. En la trayectoria recta se desplazaba 480 [mm] y en la circular se desplaza 1507 [mm]. Para este movimiento la aceleración es de 3.4G.



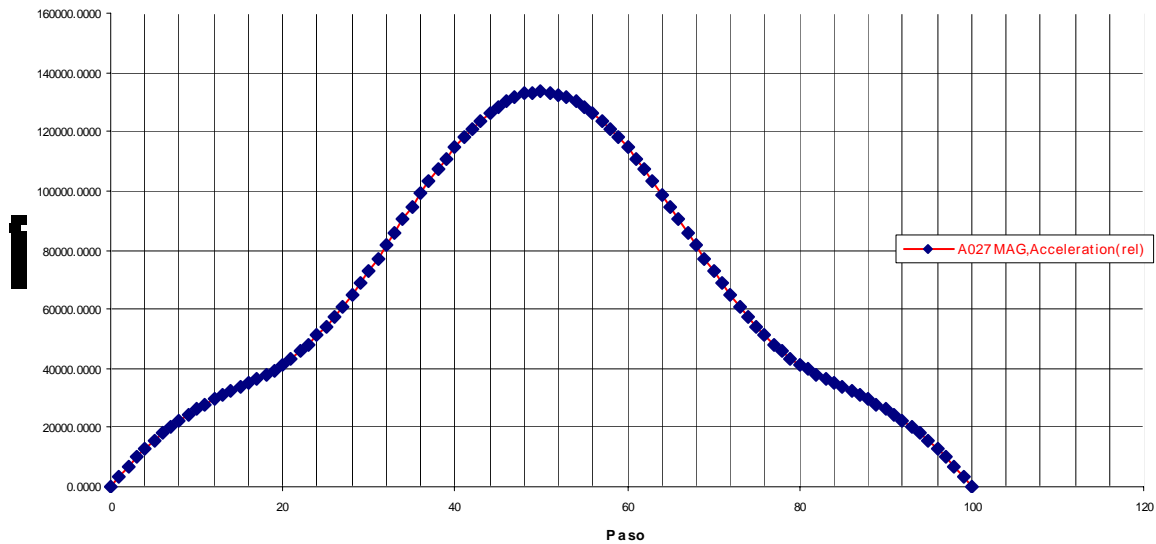
Gráfica 3.10 Aceleración de la plataforma móvil para un segundo.

En la gráfica 3.11 de torque, se aprecia que los motores inician con un torque bajo que va subiendo hacia la mitad de la trayectoria. En la mitad de la gráfica se encuentra el punto más alto que es donde el robot alcanza su máxima aceleración. El par máximo para uno de los motores se encuentra en aproximadamente 2.38 [Nm].



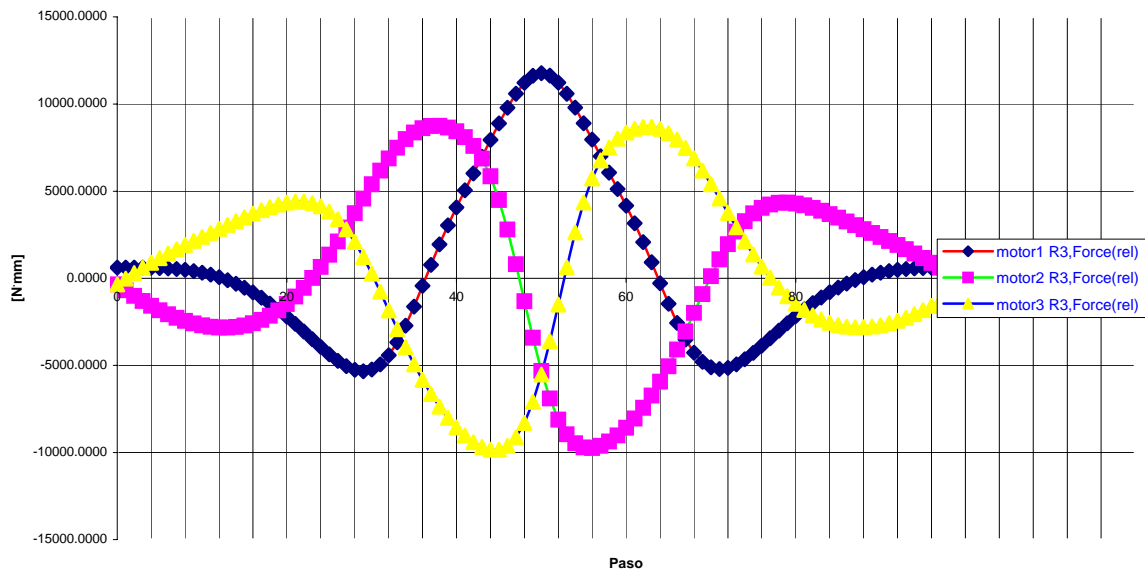
Gráfica 3.11 Torques en motores para un segundo.

En la gráfica 3.12 de aceleración, la forma de la curva es la misma que la de la trayectoria en un segundo. Lo único que cambia son los valores de las aceleraciones. Para este movimiento en medio segundo se alcanza una aceleración máxima de 13.6G.



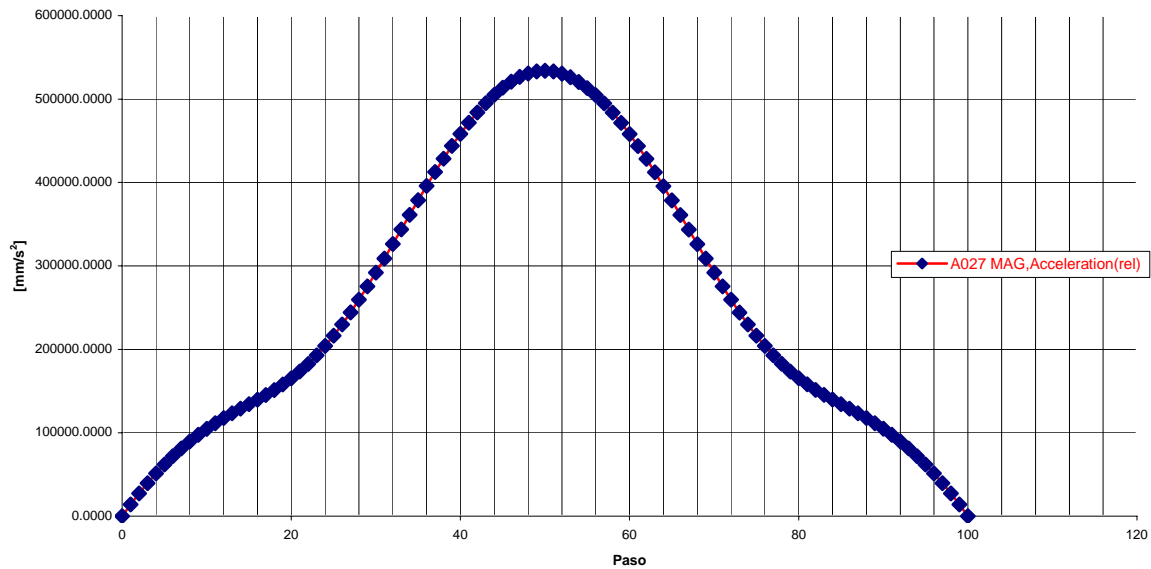
Gráfica 3.12 Aceleración de la plataforma móvil para medio segundo.

La gráfica 3.13 de torques conserva la misma forma que la gráfica 3.11. Lo que se ve alterado son los valores de los mismos. Para esta trayectoria el par máximo asciende a 11.7 [Nm].



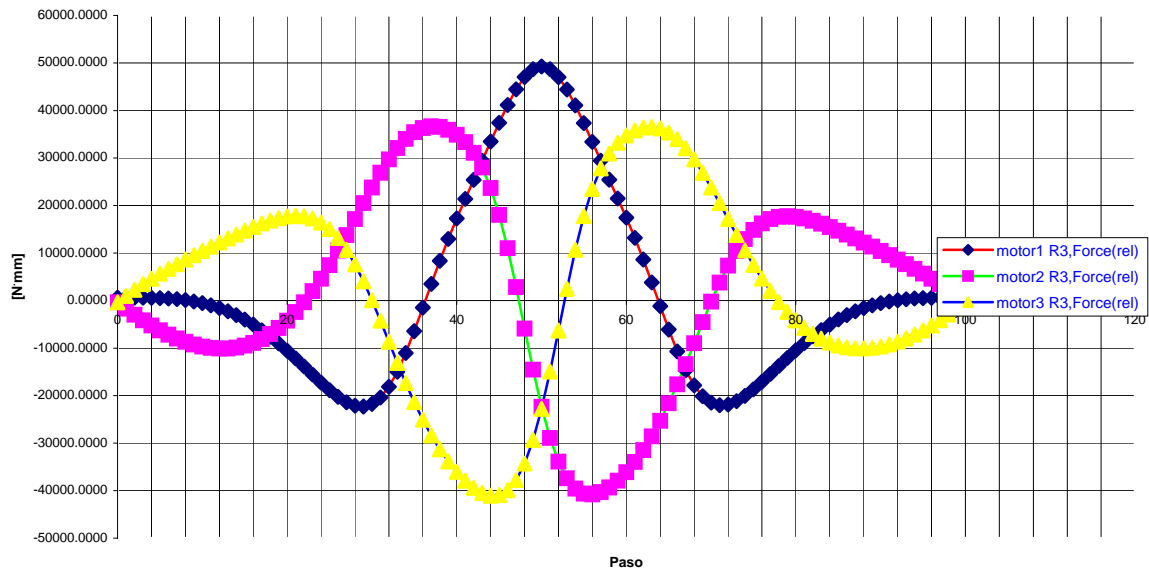
Gráfica 3.13 Torques en motores para medio segundo.

En la gráfica 3.14 el valor máximo de aceleración es de 54.4G. En caso de poder ser construido y que efectivamente realice la trayectoria en 0.25 segundos, este robot paralelo delta se convertiría en el más rápido del mundo. Este se discute más adelante.



Gráfica 3.14 Aceleración de la plataforma móvil para un cuarto de segundo.

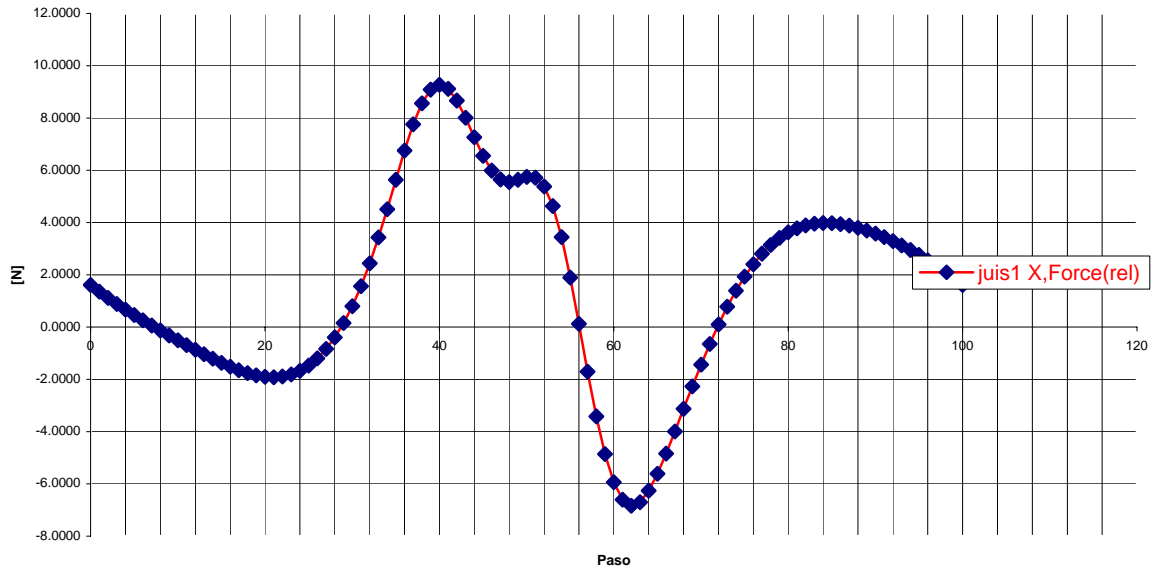
En el último caso, gráfica 3.15, dado que la aceleración es bastante grande, el par máximo llega casi hasta 50 [Nm]. Esto indica que si se quiere realizar este movimiento es necesario tener un motor muy rápido y muy potente. Esto se discute en el siguiente capítulo.



Gráfica 3.15 Torques en motores para un cuarto de segundo.

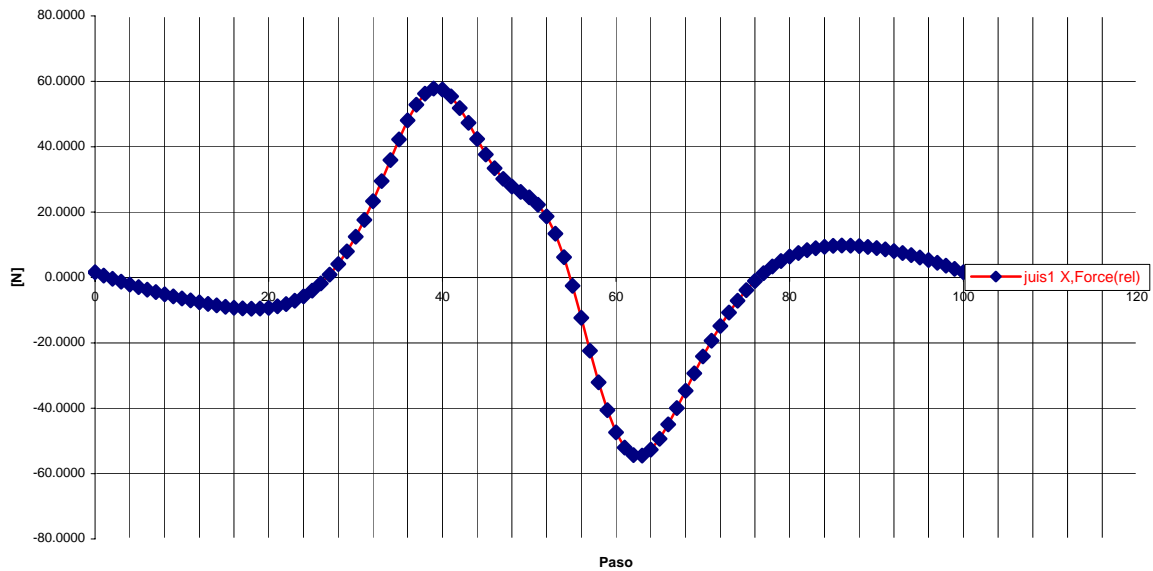
Las gráficas 3.14 y 3.15 muestran que debido al manejo de altas velocidades, los momentos de inercia aumentan considerablemente. Esto lleva a pensar que hay fuerzas de reacción en las articulaciones que tienen que ser consideradas. Es por esto que también se obtuvieron las fuerzas de reacción en las juntas universales para cada uno de los tres diferentes tiempos.

En la gráfica 3.16 se observan dos picos en la fuerza, uno negativo y uno positivo. El mayor es el positivo con un valor de 9.2 [N]. En este caso la fuerza es considerablemente pequeña por lo que ni las articulaciones ni los brazos tendrían problemas. La fuerza es medida en la junta universal superior ya que es la que está sometida a una mayor carga.



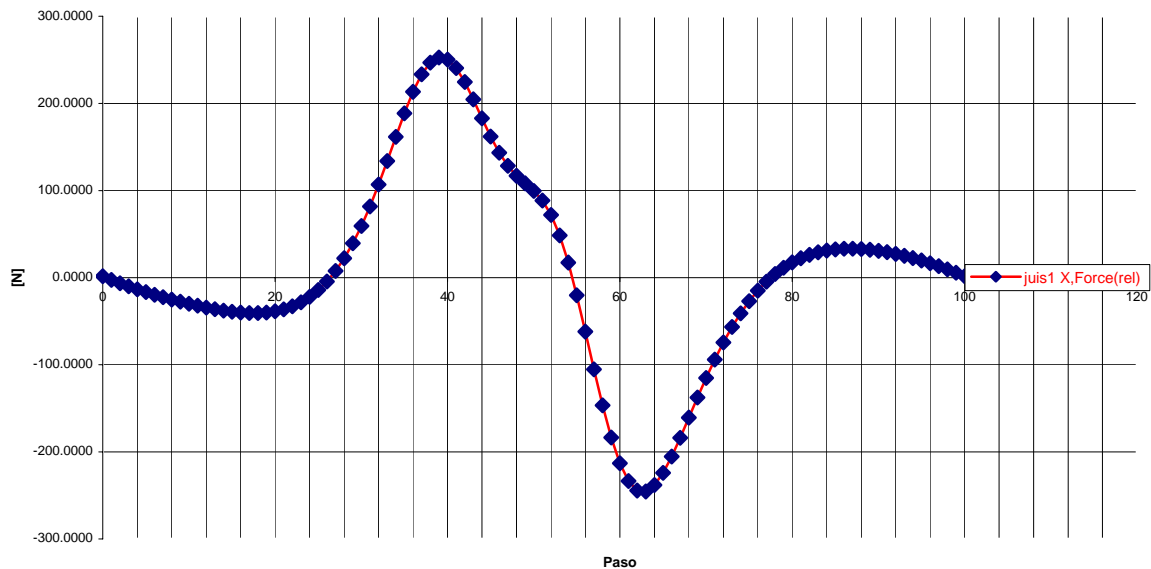
Gráfica 3.16 Fuerza en juntas para un segundo.

Para la segunda simulación, gráfica 3.17, la forma de la curva es básicamente la misma pero el mayor valor de fuerza se encuentra en 57.8 [N]. En este caso las juntas serían capaces de soportar la carga, sin embargo, puede que ya se empiece a presentar un problemas de flexión en los elementos estructurales. Esto se discute más adelante en este capítulo.



Gráfica 3.17 Fuerzas en juntas para medio segundo.

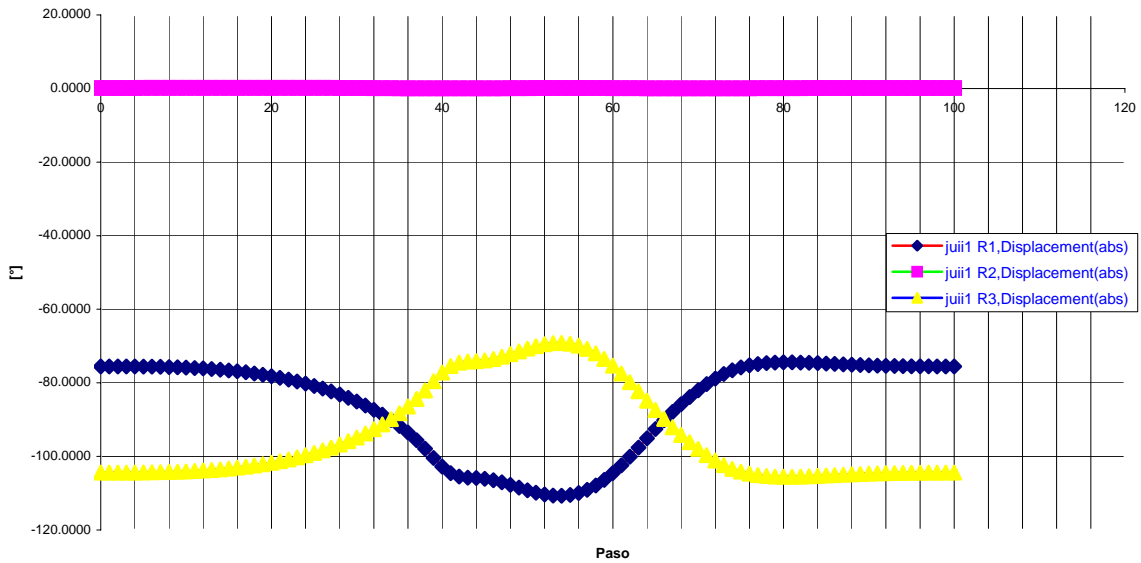
En la tercera simulación el máximo valor de fuerza asciende hasta 252.7 [N]. En este punto puede que se empiecen a presentar problemas en las juntas y definitivamente debe existir algo de flexión en los elemento estructurales. Claro que ésta deformación es instantánea pero el efecto elástico de los brazos pudiera provocar problemas de inestabilidad o vibración.



Gráfica 3.18 Fuerzas en juntas para un cuarto de segundo.

Por último, se obtuvo la gráfica 3.19 de desplazamiento angular en los tres ejes de una de las juntas esféricas que hacen el papel de juntas universales. En el apartado de especificaciones para el análisis se mencionó que el desplazamiento sobre el tercer eje de rotación de la junta esférica debe ser despreciable para poder considerarla como junta universal.

En la gráfica 3.19 aparece que unos de los ejes tiene un desplazamiento casi nulo. Los otros dos ejes presentan un desplazamiento cíclico y opuesto debido a que el robot está describiendo la trayectoria circular. En realidad existe un desplazamiento angular en el eje R1 que tiene como máximo los 0.14 [°], lo cual puede ser considerado como despreciable.



Gráfica 3.19 Desplazamientos angulares en junta esférica.

3.1.6 Área y volumen de trabajo

El área máxima de trabajo está determinada por el movimiento máximo que pueden realizar los brazos. En este caso, el área máxima será un círculo en una altura determinada.

En el apartado 3.1.5 se utilizó como trayectoria un círculo que hacía que los brazos se desplazaran 40° hacia arriba y hacia abajo. Dado que 40° es el límite de movimiento, el círculo utilizado describe a la máxima área de trabajo (figura 3.11), es decir:

$$r = 240 \text{ [mm]} \text{ y } Z = -452 \text{ [mm]}$$

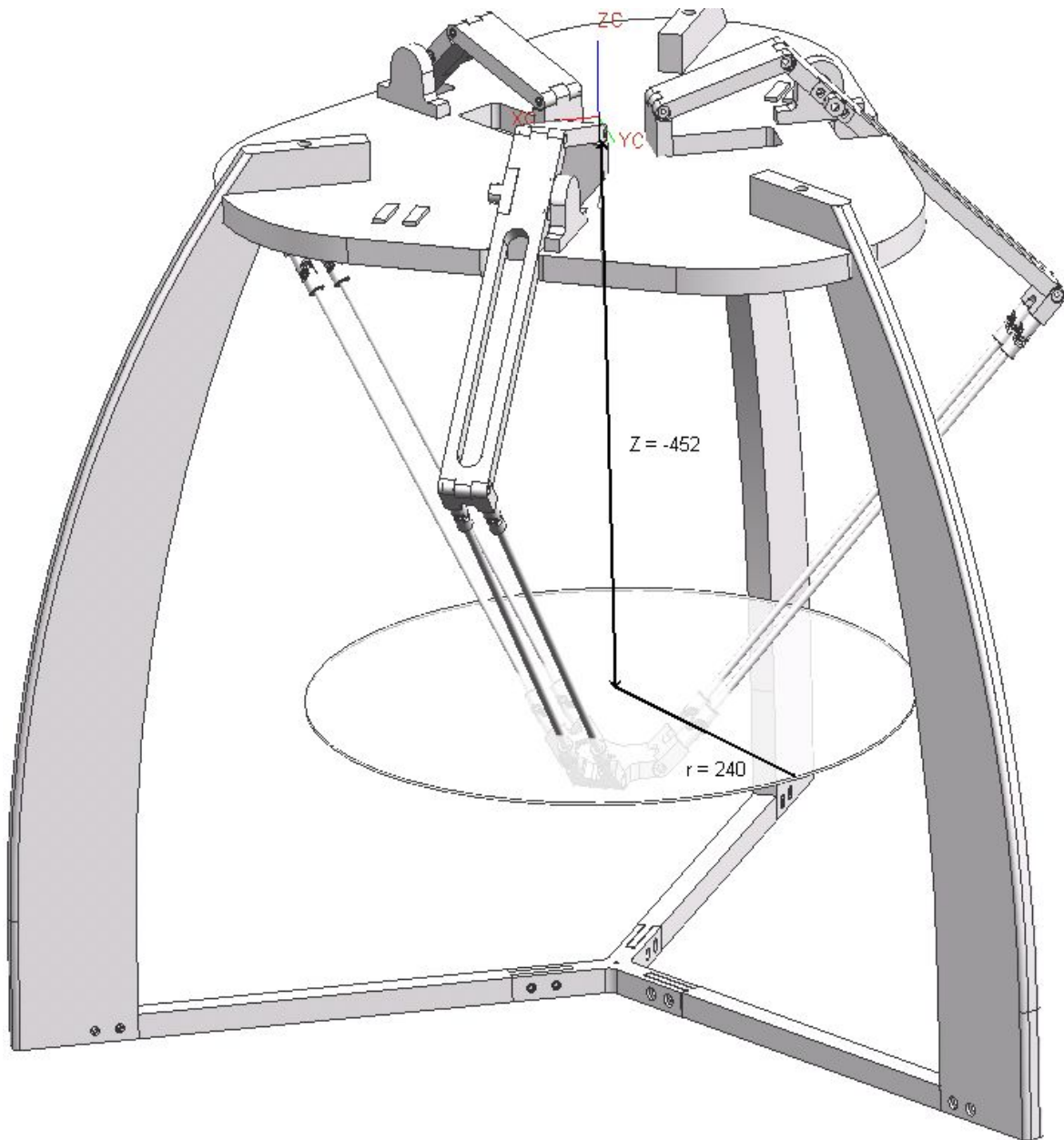


Fig. 3.11 Área máxima de trabajo del robot. (Dimensiones en mm)

El volumen de trabajo está determinado por una serie de círculos concéntricos. A partir del círculo máximo, hacia arriba y hacia abajo, existen círculos que van disminuyendo en radio. Hacia arriba existe la limitante de que dada cierta altura el robot no podrá trazar trayectoria alguna. Hacia abajo los círculos disminuyen de radio hasta llegar a un radio cero. El volumen de trabajo es una especie de ovoide truncado cuyo eje de rotación está alineado con el eje Z del robot.

3.2 Análisis estructural

Para la realización del análisis estructural se utilizó el módulo de Structures de Unigraphics. Este es un módulo de análisis estructural mediante el método de elemento finito. El módulo permite la realización de mallados de una manera rápida y sencilla. Así mismo, las condiciones de frontera, materiales y cargas son parámetros que se introducen de manera fácil. Los resultados que se pueden obtener son desplazamientos, deformaciones, esfuerzos, fuerzas de reacción, energía de deformación y carga aplicada. En este caso, las cargas y condiciones de frontera se importan del módulo de motion.

Para el análisis del robot delta, los resultados más importantes que se van a obtener son deformaciones. Difícilmente las fuerzas involucradas podrían llegar al esfuerzo de cedencia del material. Sin embargo, las deformaciones si pueden llegar a afectar la precisión del robot. Es por esto que sólo se obtienen resultados de deformaciones en dos partes críticas, los brazos y las patas que sostienen a la plataforma fija.

3.2.1 Datos iniciales

Las fuerzas que se utilizan para el análisis son obtenidas directamente de la simulación dinámica realizada anteriormente. El programa es capaz de generar el conjunto de fuerzas que actúan sobre alguno de los elementos del mecanismo para cada paso de la simulación.

3.2.2 Brazos

La malla que se asigna a este elemento consta de tetraedros con un tamaño promedio de 7 [mm]. El tipo de elemento con que se malla se denomina Tetra10, esto quiere decir que es un tetraedro con un nodo en cada vértice y un nodo en medio de cada una de sus aristas. La finalidad de utilizar elemento Tetra10 es aumentar la confiabilidad de los resultados. Esto entrega las siguientes propiedades de malla:

Tipo de malla: 3D

Adaptatividad de la malla: h

Número de elementos en la malla: 4646

Número de nodos en la malla: 8640

Número de elementos Tetra10: 4646

Para realizar el análisis se necesitan condiciones de frontera y cargas. Las cargas a las que está sometido el brazo corresponden a cada una de las articulaciones con las que está conectado. El brazo está conectado con las dos juntas universales, con el motor y con los contrapesos. El brazo cargado queda como se muestra en la figura 3.12.



Fig. 3.12 Brazo mallado con cargas.

En cuanto a las condiciones de frontera, estas no son necesarias [4]. Se utiliza una opción de análisis llamada “inertia relief”. Esta opción permite simular estructuras no restringidas en un análisis estático.

Una descripción sencilla de “inertia relief” es que la inercia (masa por aceleración) se utiliza para contrarrestar las cargas aplicadas. Esto es, que se asume que la estructura está en equilibrio estático aunque no este restringida.

La simulación entrega las fuerzas y momentos en cada componente para cada paso de la simulación. Se realizaron tres simulaciones, para un segundo, para medio segundo y para un cuarto de segundo. Ver anexo E.

Se tiene la opción de enviar las cargas a un análisis estructural para cualquier paso de la simulación. Se enviaron las cargas desde el paso 1 hasta el 100 de 5 en 5 pasos. Es decir, para el paso 1, paso 5, paso 10, paso 15, etc.

Los resultados de desplazamiento y esfuerzo máximo en la simulación en un tiempo de un segundo se muestran en la tabla 3.3.

Paso	Desplazamiento máximo [mm]	Esfuerzo máximo [N/mm²]
1	3.206×10^{-1}	5.048×10^{-1}
5	3.222×10^{-1}	5.072×10^{-1}
10	3.219×10^{-1}	5.101×10^{-1}
15	3.163×10^{-1}	5.143×10^{-1}
20	3.046×10^{-1}	5.255×10^{-1}
25	2.923×10^{-1}	5.585×10^{-1}
30	2.754×10^{-1}	5.940×10^{-1}
35	1.940×10^{-1}	5.805×10^{-1}
40	1.167×10^{-1}	8.979×10^{-1}
45	2.672×10^{-1}	6.291×10^{-1}
50	3.972×10^{-1}	7.839×10^{-1}
55	2.777×10^{-1}	1.010

60	1.734×10^{-1}	1.462
65	2.305×10^{-1}	8.906×10^{-1}
70	2.817×10^{-1}	5.892×10^{-1}
75	2.837×10^{-1}	5.651×10^{-1}
80	2.919×10^{-1}	5.278×10^{-1}
85	3.049×10^{-1}	5.227×10^{-1}
90	3.137×10^{-1}	5.202×10^{-1}
95	3.177×10^{-1}	5.145×10^{-1}
100	3.201×10^{-1}	5.059×10^{-1}

Tabla 3.3 Resultados de esfuerzo y deformación para un segundo.

En la figura 3.13 se muestra el brazo sometido a las cargas en el paso 50 que corresponden al desplazamiento máximo. Se observa como las diferentes fuerzas y momentos generan torsión en el brazo. El desplazamiento máximo es de apenas una fracción de milímetro por lo que se puede considerar despreciable. En la imagen se ve una apreciable deformación. Esto es porque los resultados gráficos se multiplican por 10 para poder verificar de una mejor manera lo que está ocurriendo en la pieza.

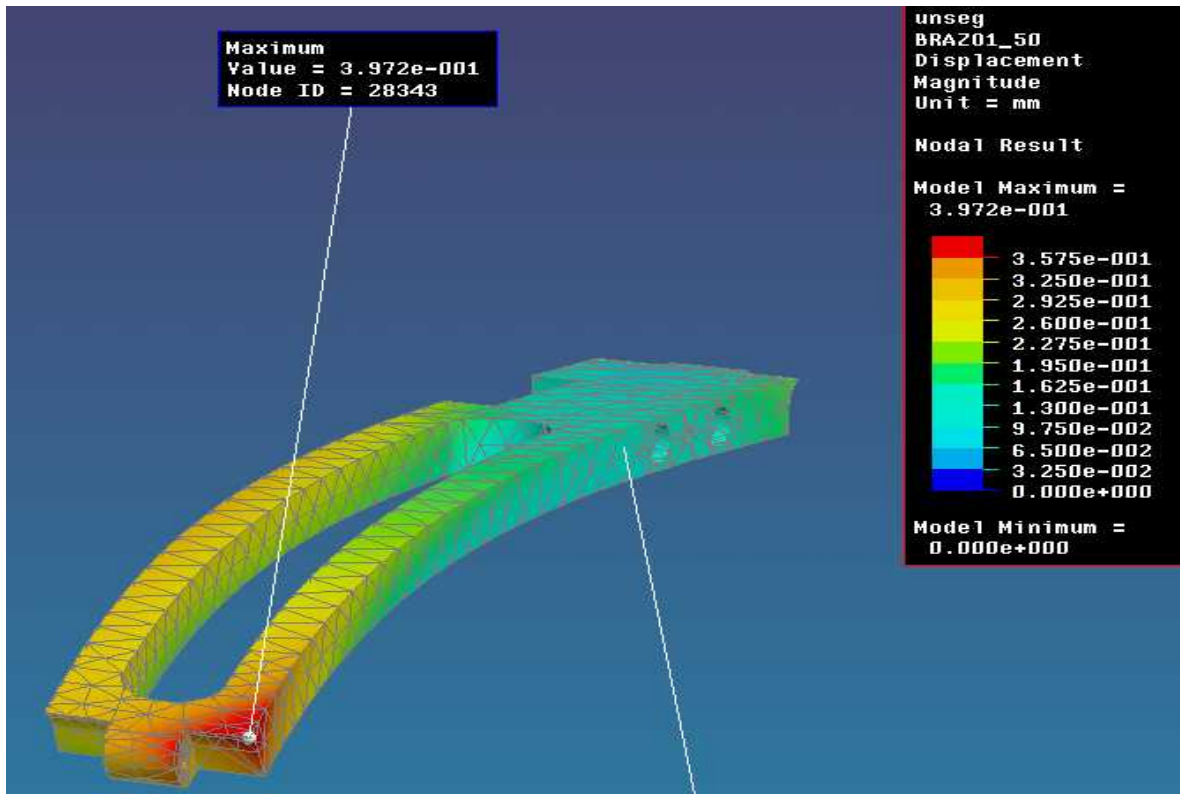


Fig. 3.13 Desplazamiento máximo para un segundo.

En el caso de los esfuerzos, el máximo se presenta en el paso número 60. Ver figura 3.14.

El esfuerzo máximo tiene un valor de 1.462 [MPa]. Esto resulta en un factor de seguridad de aproximadamente 80 por lo que no existe riesgo de rotura en la pieza.

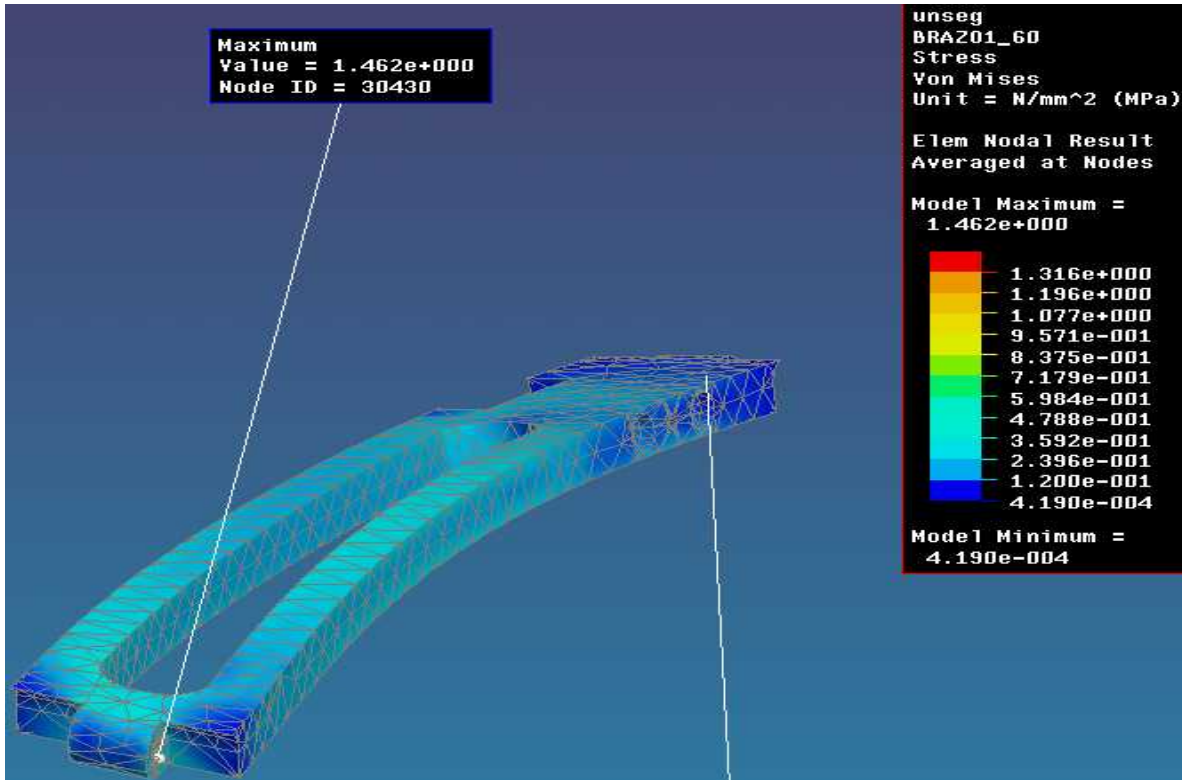


Fig. 3.14 Esfuerzo máximo para un segundo.

Se realizó lo mismo para los otros dos tiempos. En la tabla 3.4 se presentan los resultados para medio segundo.

Paso	Desplazamiento máximo [mm]	Esfuerzo máximo [N/mm ²]
1	3.221×10^{-1}	5.069×10^{-1}
5	3.289×10^{-1}	8.221×10^{-1}
10	3.280×10^{-1}	1.189
15	3.046×10^{-1}	1.228
20	2.581×10^{-1}	9.741×10^{-1}
25	2.266×10^{-1}	8.071×10^{-1}
30	2.551×10^{-1}	2.640
35	2.121×10^{-1}	5.054
40	2.662×10^{-1}	5.585
45	1.032	3.642
50	1.709	3.344
55	1.180	5.798
60	5.453×10^{-1}	9.037
65	4.519×10^{-1}	6.579
70	3.687×10^{-1}	2.230

75	2.380×10^{-1}	7.611×10^{-1}
80	2.296×10^{-1}	1.233
85	2.691×10^{-1}	1.233
90	2.986×10^{-1}	9.486×10^{-1}
95	3.117×10^{-1}	6.453×10^{-1}
100	3.201×10^{-1}	5.059×10^{-1}

Tabla 3.4 Resultados de esfuerzo y deformación para medio segundo.

En la figura 3.15 se muestra el paso 50 que es donde ocurre el máximo desplazamiento. En este caso el valor máximo de desplazamiento es de 1.709 [mm]. Esto ya es un valor considerable si se toma en cuenta que la precisión del robot debe ser de una fracción de milímetro. Sin embargo, este desplazamiento se está presentando a la mitad del movimiento. Cuando el robot llega al final de la trayectoria tiene un desplazamiento de 0.3 [mm].

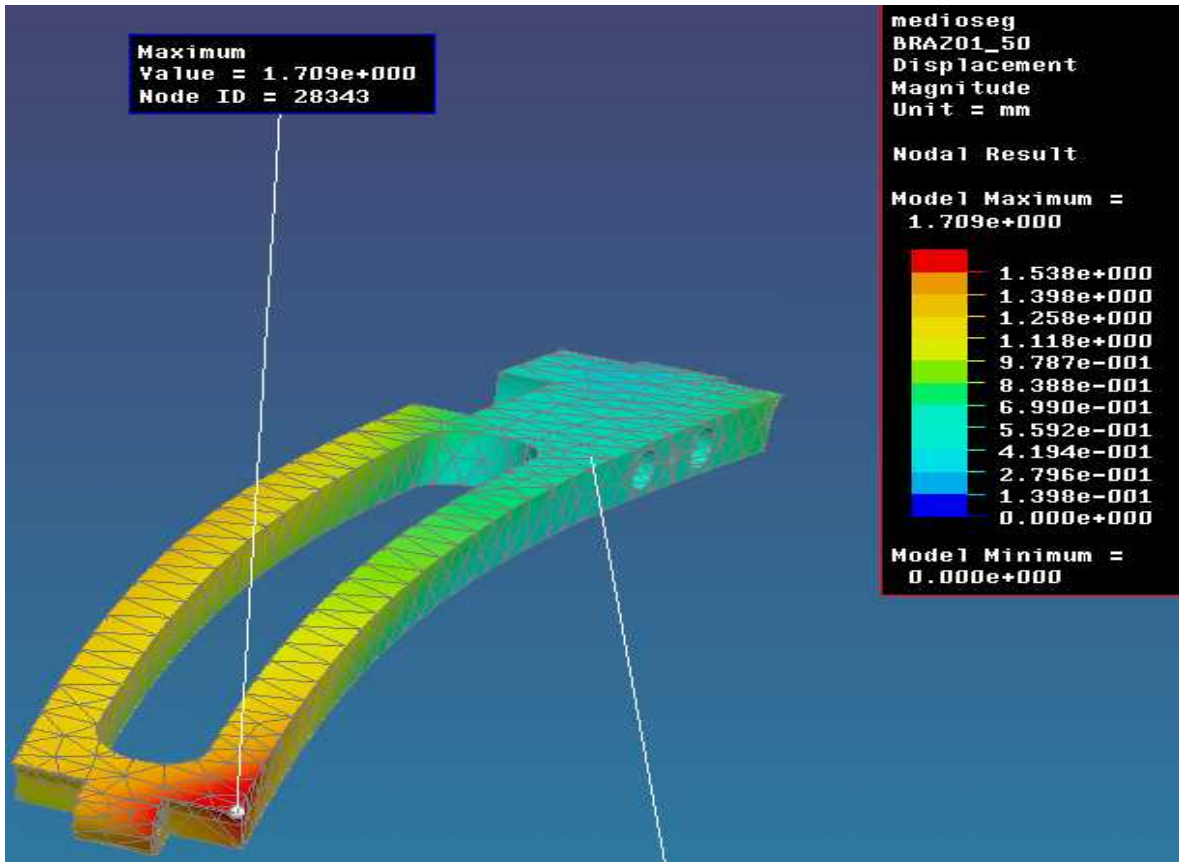


Fig. 3.15 Desplazamiento máximo para medio segundo.

Para la figura 3.16 correspondiente a los esfuerzos se repite que el valor máximo se encuentra en el paso 60. En este caso el esfuerzo llega hasta los 9 [MPa]. El esfuerzo se sigue concentrando en la unión del brazo con la junta H pero no llega a ser lo suficiente como para provocar algún problema. El factor de seguridad es de 13.

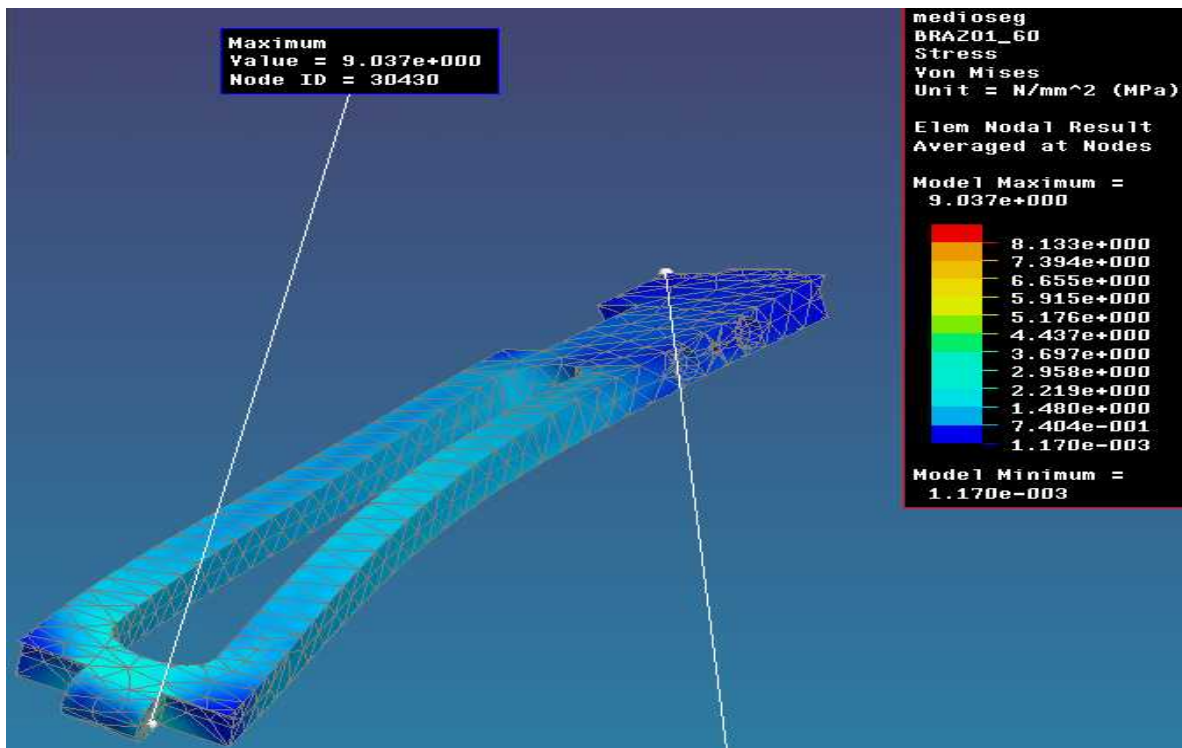


Fig. 3.16 Esfuerzo máximo para medio segundo.

Los resultados para el tercer tiempo, un cuarto de segundo, se presentan en la tabla 3.5.

Paso	Desplazamiento máximo [mm]	Esfuerzo máximo [N/mm ²]
1	3.287×10^{-1}	7.690×10^{-1}
5	3.658×10^{-1}	2.617
10	3.797×10^{-1}	4.041
15	3.124×10^{-1}	4.142
20	2.730×10^{-1}	4.006
25	2.954×10^{-1}	3.190
30	4.344×10^{-1}	$1.252 \times 10^{+1}$
35	7.917×10^{-1}	$2.296 \times 10^{+1}$
40	8.971×10^{-1}	$2.433 \times 10^{+1}$
45	4.095	$1.570 \times 10^{+1}$
50	6.955	$1.359 \times 10^{+1}$
55	4.791	$2.495 \times 10^{+1}$
60	2.039	$3.934 \times 10^{+1}$
65	1.373	$2.934 \times 10^{+1}$
70	8.423×10^{-1}	$1.054 \times 10^{+1}$
75	3.156×10^{-1}	2.799
80	1.648×10^{-1}	5.551
85	2.511×10^{-1}	5.431

90	3.010×10^{-1}	4.057
95	3.005×10^{-1}	2.208
100	3.201×10^{-1}	5.059×10^{-1}

Tabla 3.5 Resultados de esfuerzo y deformación para un cuarto de segundo.

El desplazamiento máximo ocurre en el paso 50 que se muestra en la figura 3.17. Ahora el valor máximo llega hasta los 6.9 [mm]. Esto ya se puede manejar como considerable. El efecto elástico del material podría provocar vibraciones ya que algo similar está sucediendo al mismo tiempo en los otros dos brazos. Sin embargo, en la parte de desaceleración el valor vuelve a descender a los 0.3 [mm]. Esto se debe al perfil de velocidad utilizado en la trayectoria.

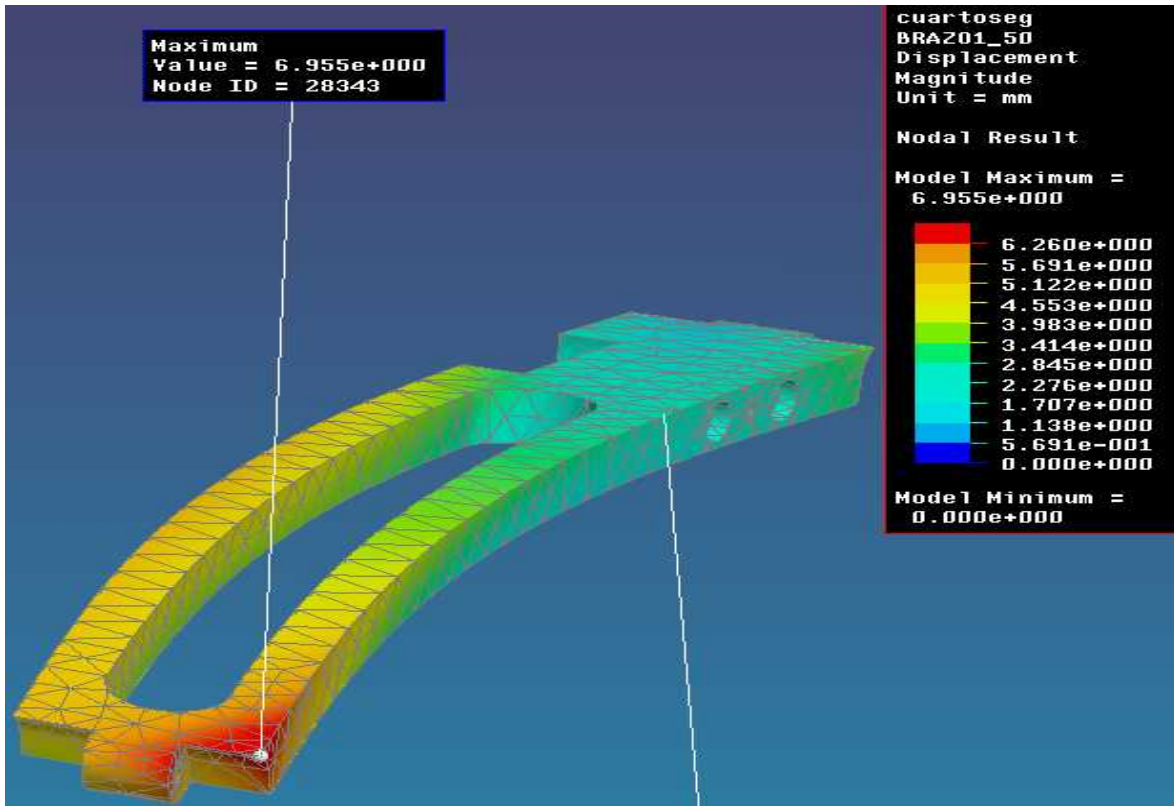


Fig. 3.17 Desplazamiento máximo para un cuarto de segundo.

En la figura 3.18 correspondiente a esfuerzos, el máximo sucede en el paso 60. En este último caso el esfuerzo es de hasta 35.3 [MPa]. El brazo se comporta de manera similar a los otros dos casos y el esfuerzo se concentra en el mismo lugar. Sin embargo, el valor máximo no llega al esfuerzo de cedencia del material. El factor de seguridad es de 3.3.

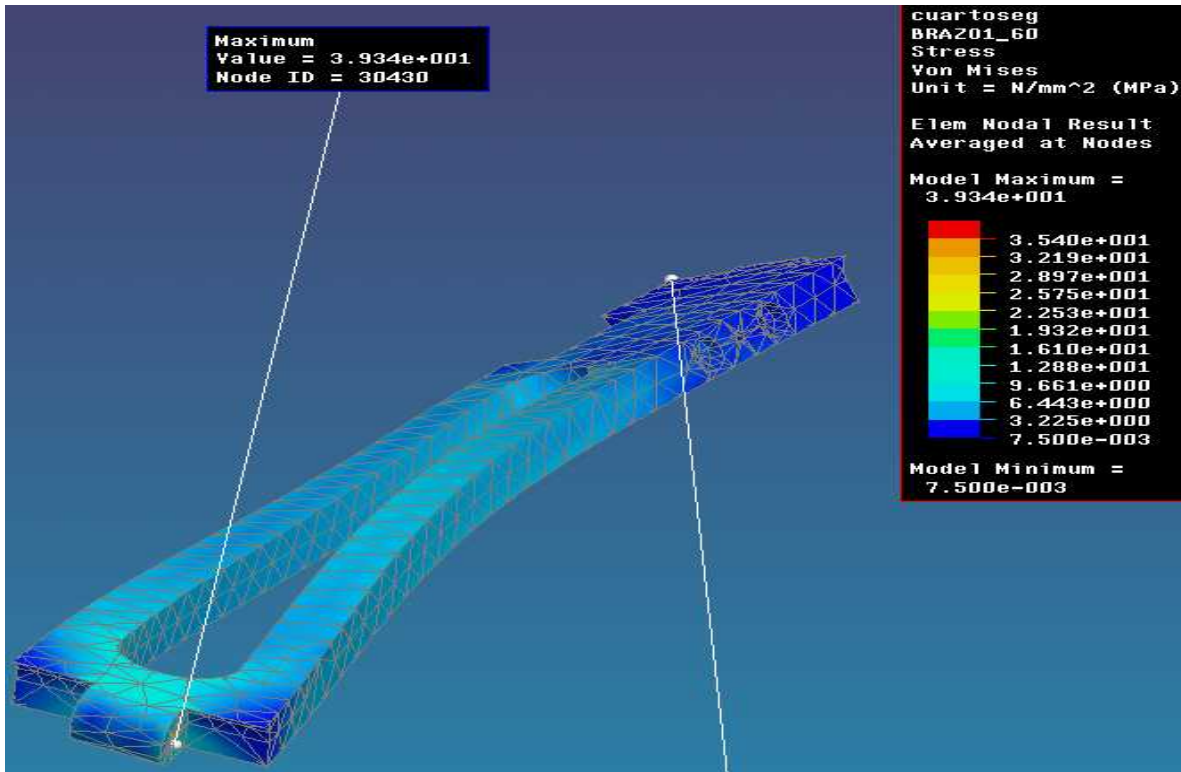


Fig. 3.18 Esfuerzo máximo para un cuarto de segundo.

3.2.3 Base

En el análisis de la base, lo que interesa saber es si las patas y la plataforma superior son capaces de soportar el peso del robot sin sufrir deformación. El peso total depende del peso del robot, el peso de los motores y el peso de los controladores. Los controladores pueden colocarse fuera de la estructura pero aquí se considera que se colocan sobre la plataforma superior para analizar el caso límite. El peso de cada parte del robot se muestra en la tabla 3.6.

Parte	Peso unitario [g]	Total [g]
Brazo	108.7	326.1
Contrapeso1	62.6	187.8
Contrapeso2	341.5	1024.5
Junta universal	2.93	17.58
Antebrazo	65.19	391.14
Junta H	11.4	68.4
Plataforma móvil	49.5	49.5
Total		2065.02

Tabla 3.6 Peso del robot.

Como se puede observar el robot es sumamente ligero. Apenas rebasa los 2 [kg]. Esto se refiere únicamente al peso de las cadenas cinemáticas. Los elementos estáticos como son los motores y controladores son lo que más peso agregarán a la estructura. Dado que no se

han seleccionado los motores a utilizar se estima un peso de 2[kg] por motor y otros 2[kg] por cada controlador. Esto da un total de aproximadamente 15 [kg] sobre la plataforma superior.

Los elementos estructurales que se toman en cuenta en el análisis de elemento finito son: la plataforma superior, las patas, los tensores de las patas y el conector central. Las características de las mallas para cada elemento se listan a continuación.

Plataforma superior

Tipo de malla: 3D

Adaptatividad de la malla: h

Número de elementos en la malla: 7443

Número de nodos en la malla: 14339

Número de elementos Tetra10: 7443

Pata

Tipo de malla: 3D

Adaptatividad de la malla: h

Número de elementos en la malla: 4243

Número de nodos en la malla: 8065

Número de elementos Tetra10: 4243

Tensor

Tipo de malla: 3D

Adaptatividad de la malla: h

Número de elementos en la malla: 392

Número de nodos en la malla: 895

Número de elementos Tetra10: 392

Conector delta

Tipo de malla: 3D

Adaptatividad de la malla: h

Número de elementos en la malla: 2526

Número de nodos en la malla: 4786

Número de elementos Tetra10: 2526

En cuanto a las condiciones de frontera, tan sólo se limita el movimiento vertical en la base de las patas.

Se colocó una carga de 5 [kg] a cada lado del lugar donde se aloja cada uno de los brazos del delta. El peso total al hacer esto es de 30 [kg] por lo que se está duplicando el peso estimado. La base debe ser capaz de soportar esto para tener un factor de seguridad de 2. La estructura mallada y restringida se muestra en la figura 3.19.

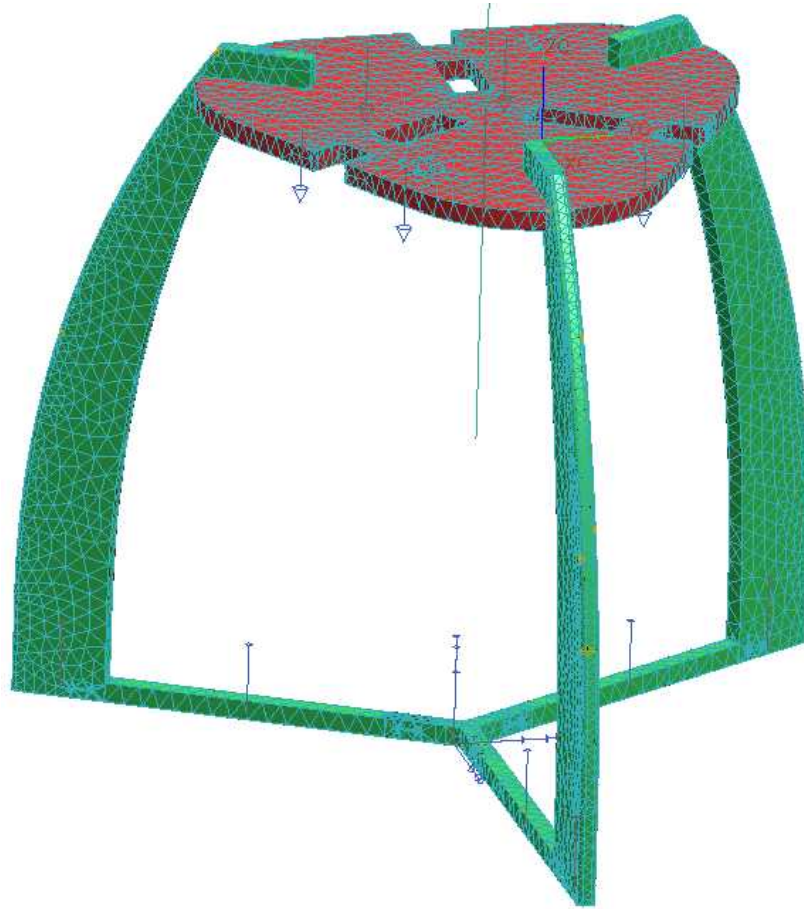


Fig. 3.19 Base mallada.

Los resultados obtenidos para desplazamiento se presentan en la figura 3.20. El desplazamiento máximo que marca el análisis es de 0.286 [mm]. Aún teniendo el doble de carga que se había estimado, el desplazamiento resulta ser despreciable. Con esto se puede asegurar que la base es lo suficientemente rígida para el robot. Dado que se obtienen resultados muy aceptables para cargas estáticas, y tomando en cuenta que las cargas dinámicas generadas por el robot en movimiento no son mayores a los 15 [kg] (estimados anteriormente), no sería incorrecto suponer que se comporta satisfactoriamente sometido a cargas dinámicas.

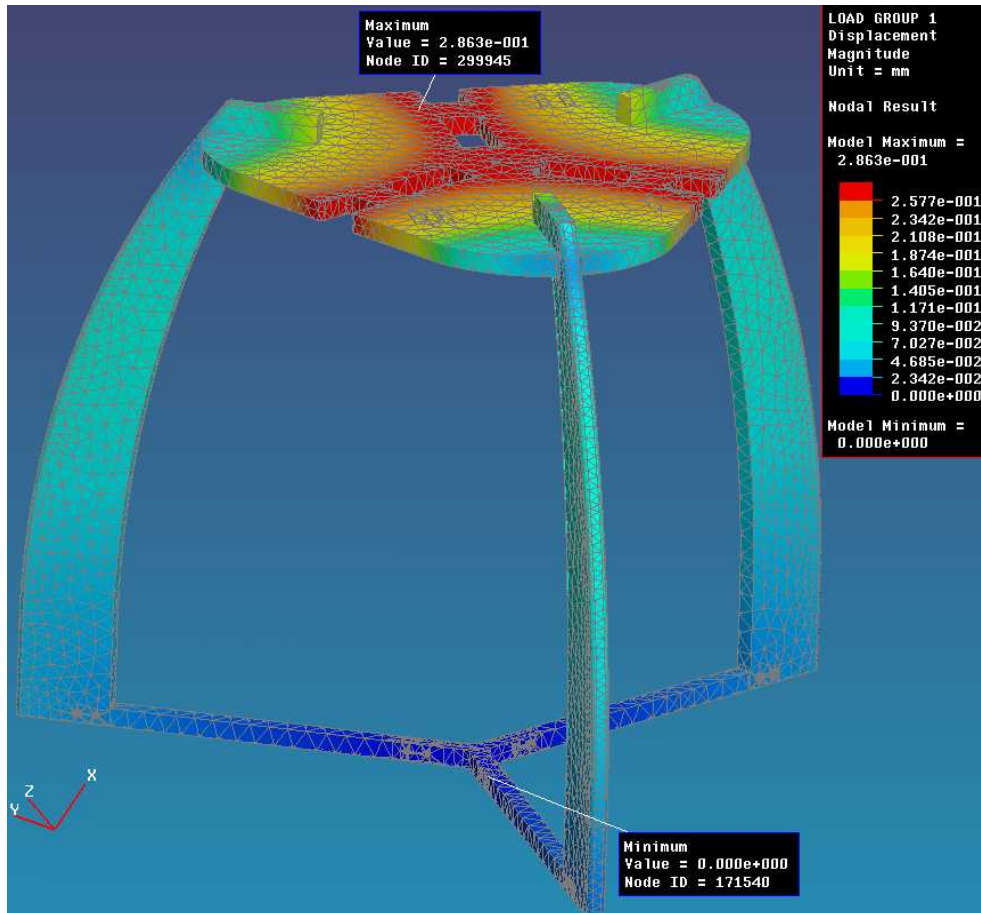


Fig. 3.20 Desplazamientos máximos en la base.

Se obtuvieron los resultados de esfuerzo con el objetivo de observar en que parte trabaja más la estructura. Como se observa en la figura 3.21, las áreas de mayor esfuerzo son las cavidades al lado de los brazos y el lomo de las patas en su sección más delgada. La forma arqueada de las patas logra que se distribuyan mejor los esfuerzos y se logra una estructura estética y funcional.

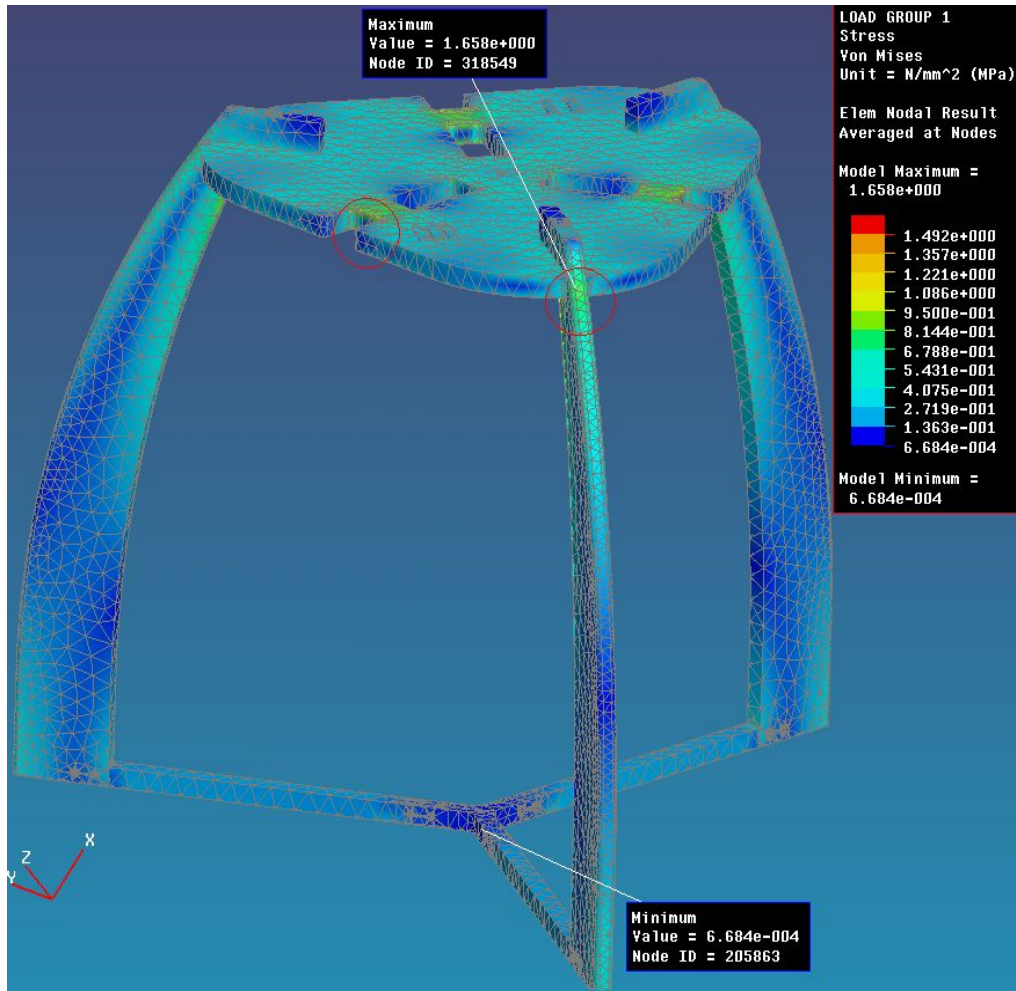


Fig. 3.21 Esfuerzos máximos en la base.

Capítulo 4

Selección de elementos motrices y de control

En este capítulo se analizan los diferentes sistemas de movimiento disponibles en el mercado. Se toman en cuenta ventajas y desventajas de cada una de las alternativas y se lleva a cabo una selección. Además, se hace un análisis de la aceleración máxima del robot dependiendo de la opción seleccionada.

En el apartado de control se hace una descripción breve de los sistemas disponibles actualmente. Se analizan las características de cada uno, así como sus ventajas y desventajas.

4.1 Sistemas disponibles

Los sistemas motrices básicos para controlar movimiento, que incluya control de velocidad, torque o posición son:

- Motores de aire
- Motores hidráulicos
- Clutch/Freno
- Motores a pasos
- Motores de inducción AC
- Servomotores
- Motores CD
- Motores de ángulo limitado

Motores de aire: se utiliza aire comprimido para obtener movimiento. La presión y el flujo determinan la velocidad y el par. La posición generalmente no es un requerimiento.

Ventajas

Bajo costo
Componentes disponibles
Fácil de aplicar
Fácil mantenimiento
Fácil de comprender
Fuente de poder centralizada

Desventajas

Ruido del compresor
Difícil de regular la velocidad
Susceptible a contaminación
Ineficiencia energética

Motores hidráulicos: utilizan aceite a presión para mover un pistón. Mayor presión da como resultado mayor par.

Ventajas

Fácil de aplicar
Alto par disponible
Fuente de poder centralizada
Fácil de comprender

Desventajas

Ruido considerable
Difícil de controlar la velocidad
Posicionamiento lento
Susceptibles a fugas
Ineficiencia energética
Riesgo de fuego
Se requiere mucho mantenimiento

Clutch/Freno: Un dispositivo que acopla un eje continuamente en movimiento y una carga. El desacoplamiento de la carga provoca el paro. La variación de los tiempos encendido/apagado varía el desplazamiento.

Ventajas

Fácil de aplicar
Bajo costo
Buenos para inicio/paro con carga ligeras
Provee un manera sencilla de unificar velocidad

Desventajas

Aceleración sin control
Inexactos
Susceptibles al desgaste
Desempeño con baja repetitibilidad

Motor a pasos: Dispositivo electromecánico que convierte un pulso digital a un movimiento de rotación o desplazamiento específico. Un tren de impulso da como resultado una velocidad de rotación.

Ventajas

Control simple
Costo moderado
Bueno para cargas constantes
Buena precisión de posicionamiento

Desventajas

Susceptibles a perder pasos
Malo para cargas que varían
Ineficiencia energética
Tamaño grande
Problemas de resonancia

Motores de inducción AC: ampliamente utilizados para requerimientos de velocidad constante, Arrancadores eléctricos proveen una protección a conexiones y sobrecarga. Tecnología actual permite capacidad de velocidad variable.

Ventajas

Motor simple
Bajo costo
Tecnología bien desarrollada
Control de encendido/apagado directo
Posibilidad de control de velocidad burdo
Cableado sencillo
Amplia variedad de productos
Muchos vendedores disponibles

Desventajas

Control de posición limitado
Tamaño relativamente grande

Servomotores: un motor con algún mecanismo de retroalimentación. Circuitos electrónicos controlan la velocidad y posición.

Ventajas

Alto desempeño
Tamaño reducido
Gran variedad de componentes

Se logran altas velocidades con controles especializados

Desventajas

Mayor costo
Alto desempeño limitado por los controles
Par a alta velocidad limitado por el conmutador o los electrónicos

Motores CD: un motor con o sin escobillas. Existe conmutación en su funcionamiento.

Ventajas

Alto desempeño
Tamaño reducido
Velocidades medias a altas

Desventajas

...
Alto desempeño limitado por los controles
Par a alta velocidad limitado por el conmutador o los electrónicos

Motores de ángulo limitado: A diferencia de los motores convencionales con y sin escobillas, los torquers están embobinados de tal manera que no requieren conmutar para lograr movimiento. El resultado es un sistema más simple y confiable.

Ventajas

No hay ondulaciones en el torque
Alta aceleración angular
Sin conmutación
Sin escobillas
Perfil bajo

Desventajas

Mayor costo
Requiere un amplificador lineal
Requiere un controlador de movimiento programable para cerrar el lazo de posición

4.2 Selección del sistema motriz

En la tabla 4.1 se presenta una matriz de decisión en la cual se evalúan cada una de las opciones contra los requerimientos del robot.

Opción / Requerimiento	Alta velocidad	Control posicionamiento	Torque alto	Control velocidad
Motor de aire	SI	NO	SI	NO
Motor hidráulico	NO	SI	SI	NO
Clutch/Freno	SI	SI	SI	NO
Motor a pasos	SI	SI	SI	SI
Motor de inducción AC	SI	NO	SI	SI
Servomotor	SI	SI	SI	SI
Motor DC	SI	SI	NO	SI
Motor ángulo limitado	SI	SI	SI	SI

Tabla 4.1 Matriz de decisión para elección del sistema motriz.

Debido a la necesidad de tener un control sobre la posición de los motores, las alternativas existentes en el proyecto son motores de pasos, de corriente directa, de ángulo limitado o servomotores. Existen diferencias de costo entre estas opciones. Los motores de pasos y los de corriente directa son considerablemente más económicos.

En cuanto al posicionamiento, los motores de corriente directa necesitan de elementos auxiliares para saber la posición en la que se encuentra el husillo. Por otro lado, los motores de pasos tienen una buena precisión en el posicionamiento.

La ventaja más clara de los motores de corriente directa sobre los motores de pasos es la velocidad. Sin embargo, para el par requerido en la máquina, el costo del motor de corriente directa resulta ser mayor al de los motores de pasos. Además, mediante un buen control, el motor a pasos es capaz de alcanzar altas velocidades.

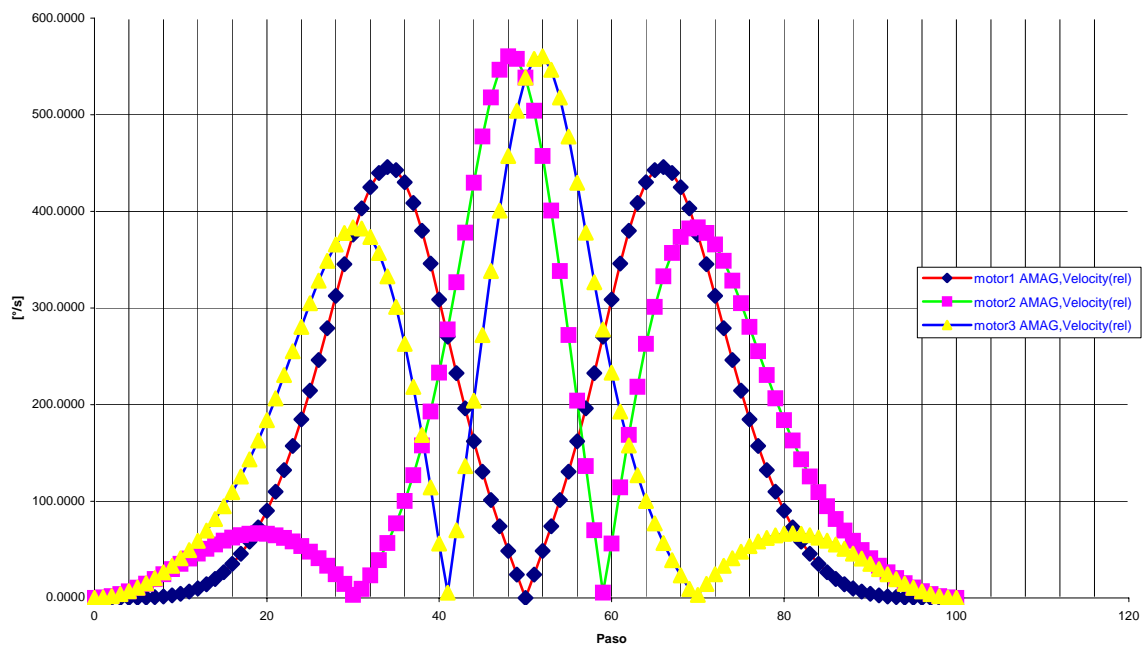
Para poder realizar una buena elección es necesario tomar en cuenta los datos obtenidos del análisis dinámico. El más importante de ellos es el torque. La mayoría de las opciones disponible pueden llegar a desarrollar un buen par, sin embargo, generalmente el tamaño aumenta cuando el par aumenta. El robot tiene una limitación de espacio en cuanto al tamaño de los motores.

Lo ideal para el robot es tener un tamaño de motor estandarizado. El ensamble realizado del robot toma en cuenta un tamaño de motor NEMA 23. El hacer esto reduce la posibilidades de elección a motores de pasos, servomotores y motores de ángulo limitado.

Tanto motores a pasos como servomotores de tamaño NEMA 23, tienen un par limitado. En su mayoría no serían capaces de entregar el torque necesario para las trayectorias de medio segundo y un cuarto de segundo. Esto obligaría a agregar un reductor a la salida del motor.

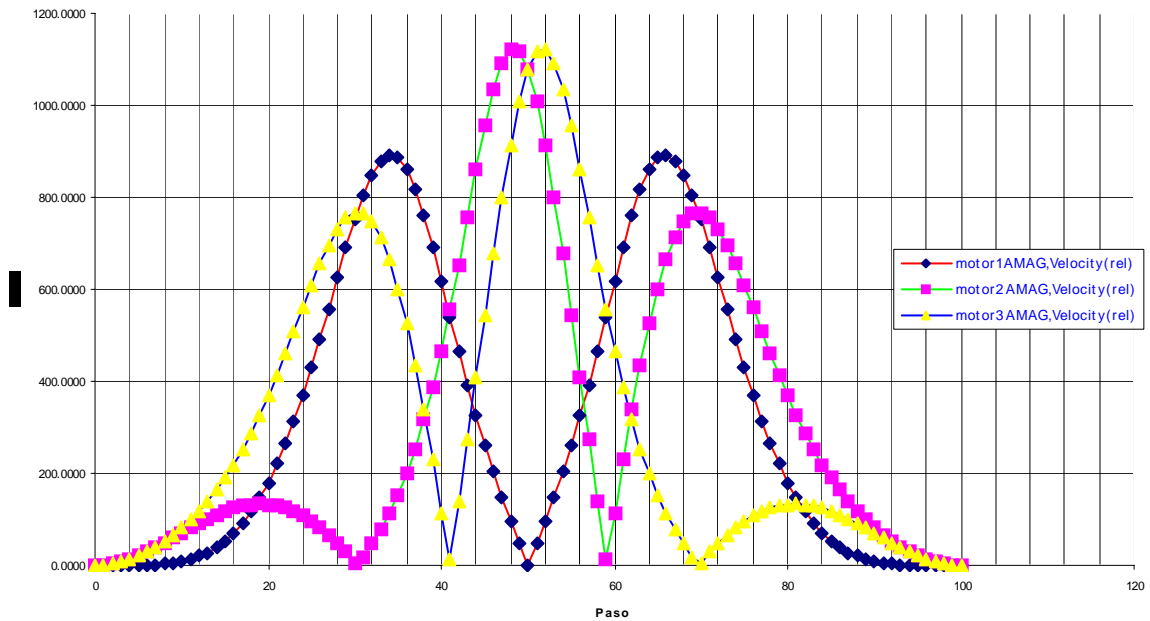
El utilizar un reductor obliga a que el motor utilizado tenga que girar más rápidamente. En general tanto motores a pasos como servomotores son capaces de desarrollar velocidades de hasta 3000 [rpm].

En la gráfica 4.1 se presentan las velocidades necesarias en los motores para la trayectoria circular en un segundo. Para esta trayectoria la velocidad angular máxima de motores es de 560.4 [$^{\circ}$ /s]. Esto equivale 90 [rpm].



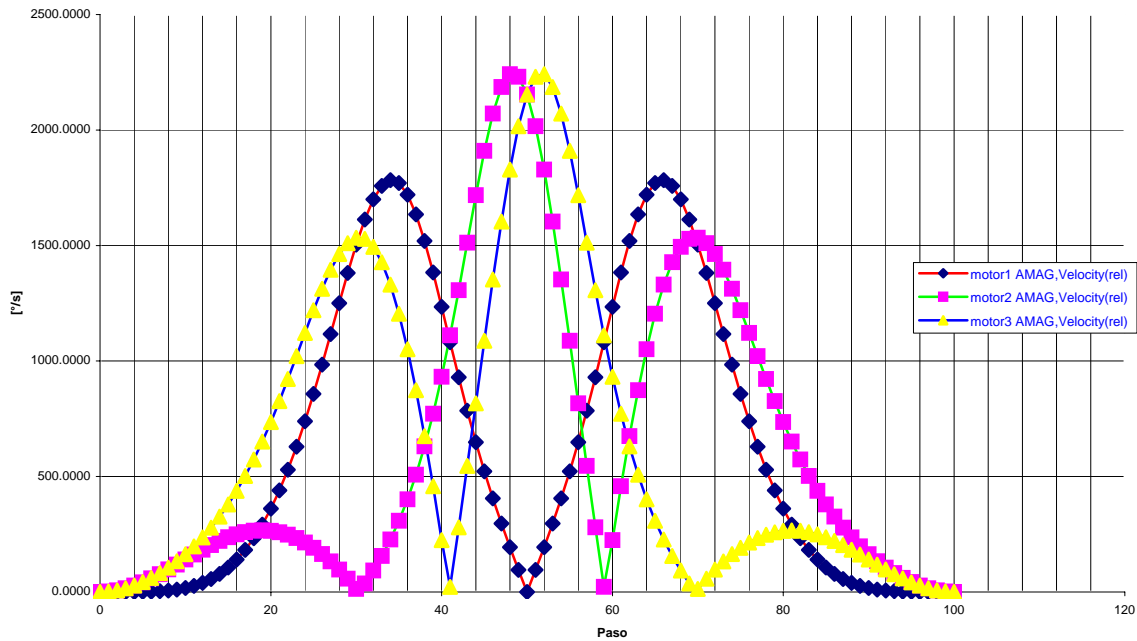
Gráfica 4.1 Velocidad angular de los motores para un segundo.

Para la segunda trayectoria, en medio segundo, la velocidad máxima es de 1120 [°/s] o lo que es igual 187 [rpm]. Ver gráfica 4.2.



Gráfica 4.2 Velocidad angular de motores para un segundo.

La trayectoria de un cuarto de segundo alcanza los 373.5 [rpm]. Ver gráfica 4.3.



Gráfica 4.3 Velocidad angular de motores para un cuarto de segundo.

En la tabla 4.2 se presentan los datos necesarios para continuar la selección.

Aceleración [G]	Velocidad [rpm]	Torque [Nm]
3.4	90	2.38
13.6	187	11.7
54.4	373	50

Tabla 4.2 Datos de aceleración, velocidad y torque.

El motor dependerá de la aceleración a la que se desea que trabaje el robot. De los datos anteriores se puede llegar a la siguiente conclusión, a excepción del movimiento a 3.4 [G], es necesario incluir un reductor de velocidad. No existen motores NEMA 23 capaces de desarrollar tanto par.

Analizando el caso más extremo se tiene lo siguiente:

Máximo torque de un NEMA 23 = 3 [Nm]

Torque necesario = 50 [Nm]

Reducción necesaria = 16.6

Velocidad necesaria del motor = 6191.8 [rpm]

La velocidad necesaria excede la que puede lograr un motor a pasos y es difícil encontrar un servomotor capaz de lograrla. En caso de querer alcanzar este objetivo. Es necesario utilizar un motor del ángulo limitado. El problema es que este motor tendría que ser fabricado a la medida para lograr el par de 50 [Nm].

En el caso de la aceleración correspondiente a 13.6 [G] se tiene que:

Máximo torque de un NEMA 23 = 3 [Nm]

Torque necesario = 11.7 [Nm]

Reducción necesaria = 3.9

Velocidad necesaria del motor = 729.3 [rpm]

En este caso un la combinación de motor con reductor funciona perfectamente. Entonces teniendo un servomotor o un motor a pasos NEMA 23 con el reductor adecuado es posible lograr aceleraciones mayores a 13.6 [G] pero menor a 54.4 [G].

Tomando como limitante una velocidad de 3000 [rpm] de un motor NEMA 23 se obtiene:

Velocidad angular = 283 [rpm]

Torque = 27.9 [Nm]

Aceleración = 31.3 [G]

Entonces, si se quiere evitar el tener que mandar a fabricar un motor de ángulo limitado, la aceleración máxima que puede alcanzar el robot es de 31.3 [G].

A continuación en las figuras 4.1 y 4.2 se muestran las configuraciones con motor y reducción y servomotores directamente acoplados respectivamente.

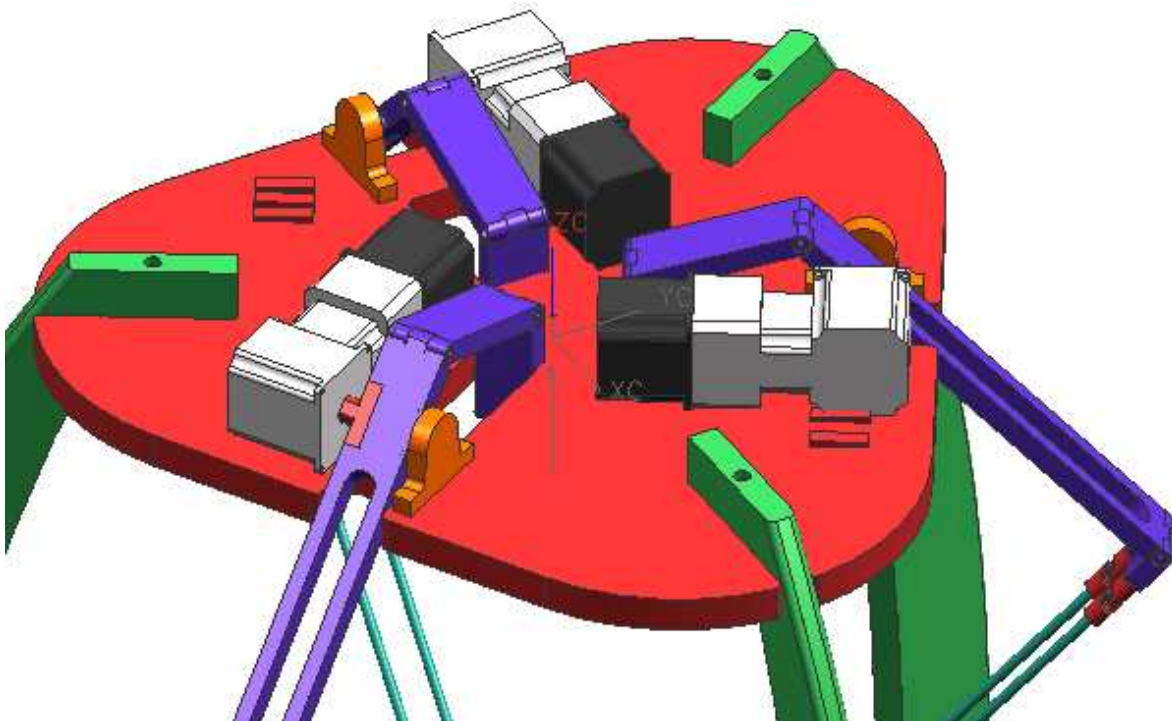


Fig. 4.1 Motores a pasos con reductor.

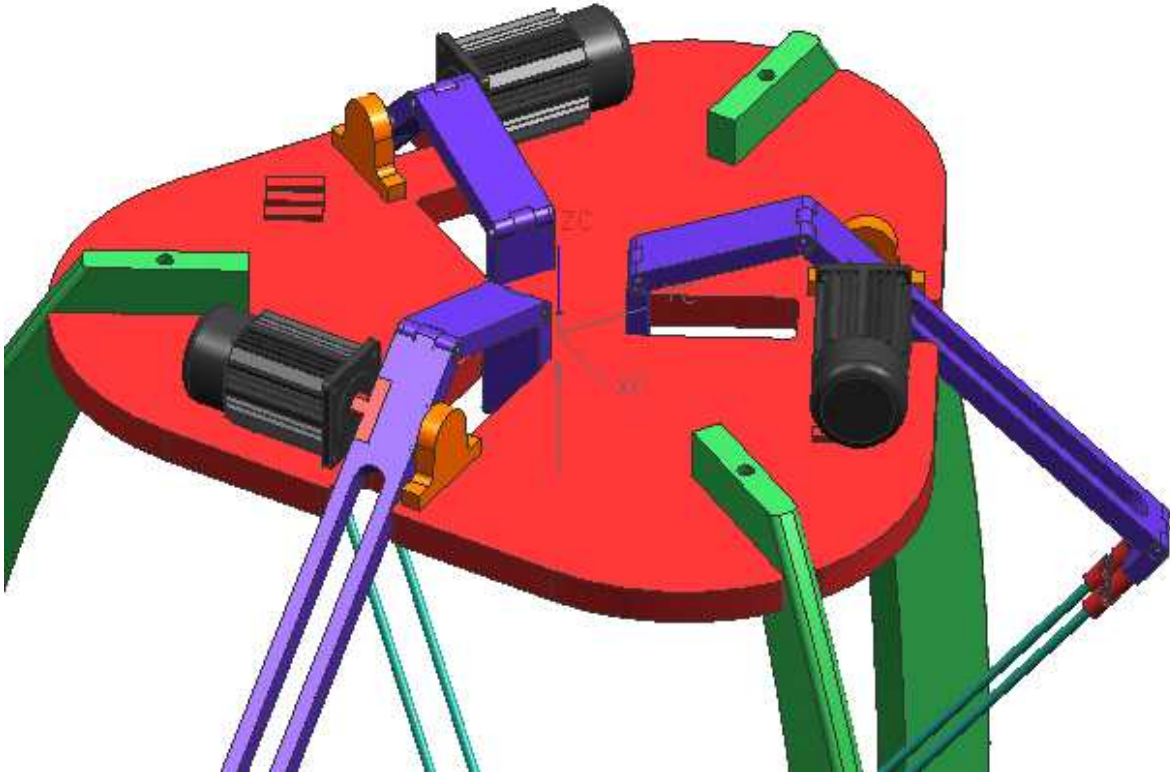


Fig. 4.2 Servomotores directamente acoplados

En conclusión, es posible utilizar una combinación de motor a pasos o servomotor con un reductor de engranes para lograr aceleraciones de hasta 31.3 [G]. La plataforma fija del robot es capaz de alojar a estos dos tipos de motores dado que ambos son NEMA 23. La principal diferencia entre estas dos opciones es el costo. El servomotor con su controlador correspondiente es mucho más caro que la opción de los motores a pasos. Esto se discute en el punto del control. Los datos de motores se encuentran en el anexo F.

En caso de querer tener aceleraciones mayores, es completamente necesario utilizar un motor de ángulo limitado (anexo F). Estos motores pueden ser fabricados para tener un torque muy alto aumentando el número de vueltas de la bobina. Sin embargo, el diámetro del motor aumenta y habría que hacer modificaciones al robot para poder alojarlos.

4.3 Control

El control depende de la opción motriz que se elegida. Actualmente, el control de servomotores y de motores a pasos es muy parecido. Este trabajo se limita a la elección de un sistema de control capaz de mover los motores con la precisión y velocidad requeridas por el robot Delta.

Para realizar el control de los motores, es necesario una fase de potencia. La fase de potencia es el circuito que permite amplificar señales de bajo voltaje en alto voltaje y corriente para los motores.

Los controladores modernos, permiten que mediante un software instalado en un computadora, sea posible comunicarse con la fase de potencia para realizar el movimiento de los motores. Dentro del software, es posible programar velocidades, aceleraciones, torques y secuencias de movimiento. Esto hace mucho más sencillo el control de movimiento. En la tabla 4.3 se muestra el controlador necesario para cada una de las opciones motrices dados los requerimientos de velocidad y precisión.

Fuente motriz	Controlador
Motor de pasos	Micropasos
Servomotor	Servo-amplificador
Motor de ángulo limitado	Servo-amplificador

Tabla 4.3 Controladores.

En el caso de que se utilizaran motores de pasos, debido a que el robot requiere alta precisión, es necesario utilizar un controlador de micropasos (microstepping drive). Estos controladores tienen la capacidad de generar más de 50,000 pasos por cada revolución del motor. Algunos de los controladores de micropasos, son capaces de comunicarse con una computadora vía RS232 y tienen un software de aplicación.

La elección del controlador adecuado para motores de pasos dependerá en primer lugar de la corriente que requieran los motores y en segundo lugar de la cantidad de dinero que se esté dispuesto a gastar en ellos. El precio de los controladores se va incrementando a medida que crece la cantidad de pasos por revolución que son capaces de entregar y de las capacidades adicionales de programación y comunicación con dispositivos externos.

En el anexo F se presenta un controlador de motores de pasos (Impulse) con capacidad de transmisión y recepción de datos. El robot Delta requiere de tres de estos controladores, uno para cada motor.

En caso de que se utilicen servomotores como fuente motriz, es necesario utilizar un servo-amplificador o servopack. Los controladores para servomotor generalmente traen consigo el software de aplicación para utilizarlo con una computadora. Las características principales de control son muy similares a las que se pueden alcanzar con la opción de motores de pasos.

En el anexo F se presenta un controlador (Servostar CD) adecuado para la opción de utilización de servomotores. En controlador elegido tiene capacidad de comunicación con una computadora e incluye un software de aplicación. Al igual que en la opción de motores de pasos, se requiere de tres de estos controladores.

Para la utilización de un motor de ángulo limitado también se utiliza un servopack (Servostar CD), y al igual que en las opciones anteriores se necesitan tres de estos.

Cabe destacar que la opción de utilizar motores de pasos con su respectivo control, es mucho más barata que la opción de utilizar servomotores o motores de ángulo limitado. La principal desventaja de los motores de pasos es que con ellos no se pueden alcanzar las aceleraciones de 54 [G]. Para lograr este tipo de aceleraciones con motores de pasos sería

necesario aumentar el tamaño de los mismos. Esto resultaría en unos motores demasiado robustos para el tamaño del robot.

Conclusiones

El objetivo del trabajo, citado al principio del mismo, se cumplió satisfactoriamente. Se produjo un diseño mecánico de un robot Delta funcional utilizando herramientas de diseño asistido por computadora.

El sistema demostró ser muy útil para realizar la cinemática directa del robot. Es probable que versiones futuras del programa permitan hacer la cinemática inversa con lo que se eliminaría la necesidad de obtener las ecuaciones de movimiento por métodos tradicionales. El poder simular objetos sólidos con un material determinado elimina la necesidad de estar obteniendo centros de masa y momentos de inercia de cada una de las partes, necesarios para el análisis dinámico.

Uno de los análisis realizados en el capítulo 3 fue determinar las interferencias en las juntas universales. Esta tarea no podía haber sido realizada por otro método que no fuera la simulación. La geometría de la junta universal es compleja y a simple vista no es fácil determinar en que momento existe la interferencia.

El haber realizado un análisis de la respuesta dinámica del robot permite observar cuales son las diferentes reacciones en la partes dependiendo de la aceleración a la que trabaje el mecanismo. Esto muestra la necesidad de realizar este tipo de análisis para el diseño de mecanismos sujetos a grandes aceleraciones.

En el caso del análisis estructural, en un principio se realizó el análisis del brazo de manera estática, es decir, establecer condiciones de frontera que evitaran el movimiento del eje de giro del brazo mientras se aplicaban las fuerzas obtenidas para las juntas universales. El resultado fue que existía desplazamientos mayores a 30 [mm]. Evidentemente estos resultados no son confiables. Al realizar el análisis utilizando la opción de “inertia relief”, los resultados fueron congruentes.

En conjunto, los análisis realizados en el capítulo 3, validan tanto el material seleccionado como las piezas propuestas en el diseño conceptual para posteriormente, como trabajo futuro, construir el diseño y compararlo con las predicciones del programa.

El tener una herramienta computacional que relaciona directamente el modelo sólido en 3D con análisis dinámicos y estructurales facilita la labor de diseño y se elimina la necesidad de utilizar traductores u otro tipo de paquetería.

Las herramientas de diseño utilizadas permitieron encontrar problemas y corregirlos de una manera sencilla sin tener que realizar un prototipo físico del robot.

En resumen, el tener las herramientas de modelado, análisis y fabricación dentro de un mismo programa, facilita la labor de diseño en todas sus etapas. Es muy importante que el ingeniero mecánico conozca, maneje y tenga la habilidad y conocimientos de interpretar determinar la confiabilidad de los resultados obtenidos para tener un máximo desempeño.

Anexo A

Hojas de datos de materiales

MatWeb Data Sheet

AISI 1060 Steel, normalized at 900°C (1650°F)

KeyWords:

AMS 7240, ASTM A29, ASTM A510, ASTM A576, ASTM A682, UNS G10600

SubCat: Carbon Steel, AISI 1000 Series Steel, High Carbon Steel, Metal

Material Notes:

Has characteristics similar to those of AISI 1055

Component	Value	Min	Max
Carbon, C		0.55	0.66
Iron, Fe		98.35	98.85
Manganese, Mn		0.6	0.9
Phosphorous, P			0.04
Sulfur, S			0.05

Properties	Value	Min	Max
Physical			
Density, g/cc	7.85	--	--
Mechanical			
Hardness, Brinell	229	--	--
Hardness, Knoop	252	--	--
Hardness, Rockwell B	96	--	--
Hardness, Rockwell C	19	--	--
Hardness, Vickers	241	--	--
Tensile Strength, Ultimate, MPa	779	--	--
Tensile Strength, Yield, MPa	420	--	--
Elongation at Break, %	18	--	--
Reduction of Area, %	32	--	--
Modulus of Elasticity, GPa	205	--	--
Bulk Modulus, GPa	140	--	--
Poissons Ratio	0.29	--	--
Izod Impact, J	14	--	--
Shear Modulus, GPa	80	--	--

MatWeb Data Sheet

Aluminum 6061-O

KeyWords:

al6061, UNS A96061; ISO AIMg1SiCu; Aluminium 6061-O, AD-33 (Russia); AA6061-O

SubCat: Aluminum Alloy, Nonferrous Metal, 6000 Series Aluminum Alloy, Metal

Material Notes:

General 6061 characteristics and uses: Excellent joining characteristics, good acceptance of applied coatings. Combines relatively high strength, good workability, and high resistance to corrosion; widely available. The T8 and T9 tempers offer better chipping characteristics over the T6 temper.

Component

	Value	Min	Max
Aluminum, Al		95.8	98.6
Chromium, Cr		0.04	0.35
Copper, Cu		0.15	0.4
Iron, Fe			0.7
Magnesium, Mg		0.8	1.2
Manganese, Mn			0.15
			0.05
			0.15
Silicon, Si		0.4	0.8
Titanium, Ti			0.15
Zinc, Zn			0.25

Properties

Physical

	Value	Min	Max
Density, g/cc	2.7	--	--

Mechanical

Hardness, Brinell	30	--	--
Ultimate Tensile Strength, MPa	124	--	--
Tensile Yield Strength, MPa	55.2	--	--
Elongation at Break, %	25	--	--
Elongation at Break, %	30	--	--
Modulus of Elasticity, GPa	68.9	--	--
Ultimate Bearing Strength, MPa	228	--	--
Bearing Yield Strength, MPa	103	--	--
Poissons Ratio	0.33	--	--
Fatigue Strength, MPa	62.1	--	--
Machinability, %	30	--	--
Shear Modulus, GPa	26	--	--
Shear Strength, MPa	82.7	--	--

MatWeb Data Sheet

Quadrant EPP Nylatron® GS Nylon, Type 66, MoS2 filled, extruded

KeyWords:

Polyamide 66; PA66; PA 66; Polyamide 6/6; Polyamide 6,6; Nylon 6/6; Nylon 6,6

SubCat: Nylon, Thermoplastic, Nylon 66, Polymer, Filled/Reinforced Thermoplastic

Material Notes:

Nylatron GS Nylon is a nylon and molybdenum disulphide (MoS2) composition designed to improve the mechanical, thermal and bearing properties of type 6/6 nylon while maintaining its basic electrical and chemical characteristics. Through compounding, finely divided particles impart extra lubricity to this nylon, permitting Nylatron GS parts to operate with little or no lubrication. The added lubricity also contributes dramatically to component service life, making Nylatron GS a very cost-efficient choice. Nylatron GS nylon offers greater wear resistance, lower surface friction, higher strength and greater rigidity than unfilled 6/6 with improved dimensional stability.

Data provided by Quadrant Engineering Plastic Products (formerly DSM EPP).

Properties	Value	Min	Max
Physical			
Specific Gravity, g/cc	1.16	--	--
Water Absorption, %	0.3	--	--
Water Absorption at Saturation, %	7	--	--
Mechanical			
Hardness, Rockwell M	85	--	--
Hardness, Rockwell R	115	--	--
Hardness, Shore D	85	--	--
Tensile Strength, Ultimate, MPa	86.2	--	--
Elongation at Break, %	25	--	--
Tensile Modulus, GPa	3.31	--	--
Flexural Modulus, GPa	3.17	--	--
Flexural Yield Strength, MPa	117	--	--
Compressive Strength, MPa	110	--	--
Compressive Modulus, GPa	2.9	--	--
Shear Strength, MPa	72.4	--	--
Coefficient of Friction	0.2	--	--
K (wear) Factor	90	--	--
Limiting Pressure Velocity, MPa-m/sec	0.105	--	--
Izod Impact, Notched, J/cm	0.267	--	--

Anexo B

Hojas de datos de juntas universales



Stock Drive Products pioneered the concept of combining the exceptional qualities of selected plastic materials with different metals to create products which incorporate both. SUPER-PLAST® designs have the following advantages:

1. Inexpensive replacement of metal components, particularly for low torque applications.
2. As vibration dampers due to the resiliency of plastics used.
3. For drives used in corrosive environments or for chemical processing equipment.
4. For drives which have to be electrically insulated.
5. For domestic appliances and other intermittent duty applications.

The SDP line of molded Universal Joints is a valuable extension of the above capabilities, and they are shown on the following pages:

Name	Description	Inch Series	Page
Universal Single Joint	All Molded	A 5M 8-D...	7-12
	Metal Spider (No Insert)	A 5T 8-D...	7-13
	Metal Spider and Insert	A 5Z 8-D...	7-13
Universal Double Joint	All Molded	A 5M 8-DD...	7-12
	Metal Spider (No Insert)	A 5T 8-DD...	7-14
	Metal Spider and Insert	A 5Z 8-DD...	7-14
Universal With Molded Slide Extension	All Molded	A 5M 8-SE...	7-15
	Metal Spider (No Insert)	A 5T 8-SE...	7-16, 7-17
	Metal Spider and Insert	A 5Z 8-SE...	7-16, 7-17
Universal With Brass Slide Extension	Metal Spider and Insert	A 5Z 8-SEB...	7-18

The above products are available from stock in standard configurations as presented in the catalog pages. They can also be manufactured to special requirements, with partial modification of existing tools. These "specials" can consist of:

- a) Bores molded to accommodate square, "D" shape or hexagonal shafts.
- b) Shafts molded into the components themselves.
- c) Zero backlash or components with built-in backlash.
- d) Gears, pulleys or other components molded or assembled to couplings or universal joints.

Please consult SDP Application Engineering for further details.



INCH

Molded Universal Joints

■ SINGLE JOINT

■ ELECTRICALLY INSULATING

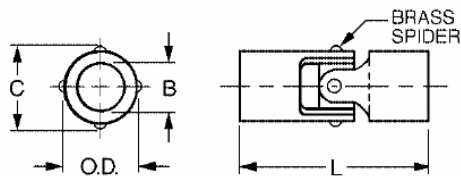


FIG. 1 PLAIN

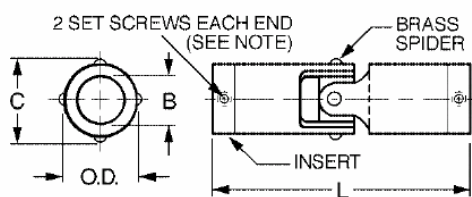
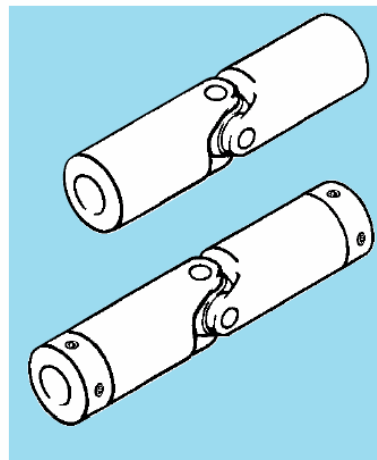


FIG. 1 WITH INSERT



MATERIAL: Body - Molded Acetal
Spider & Insert - Nickel Plated Brass



SPECIFICATIONS: Angular Displacement - 45° Max.
Operating Temperature - 180°F Max.

• FIG. 1 PLAIN							
Catalog Number	O.D.	B +.000 -.002 Bore	Bore Depth (Typ)	L Overall Length	C Dim.	Max. Ult. Torque lb. in.	
A 5T 8-D204 A 5T 8-D206	1/4	1/8 3/16	.23	3/4	.27	5	
A 5T 8-D306 A 5T 8-D308	3/8	3/16 1/4	.34	1-1/8	.41	16	
A 5T 8-D406 A 5T 8-D408 A 5T 8-D410	1/2	3/16 1/4 5/16	.42	1-25/64	.54	26	
A 5T 8-D508 A 5T 8-D510 A 5T 8-D512 A 5T 8-D514	5/8	1/4 5/16 3/8 7/16	.58	2-5/64	.68	60	

• FIG. 2 WITH INSERT							
Catalog Number	O.D.	B +.000 -.002 Bore	Bore Depth (Typ)	L Overall Length	C Dim.	Set Screw	Max. Ult. Torque lb. in.
A 5Z 8-D204	1/4	*1/8	.39	1-3/64	.27	#4-40	5
A 5Z 8-D304 A 5Z 8-D306	3/8	*1/8 3/16	.52	1-31/64	.41		16
A 5Z 8-D406 A 5Z 8-D408	1/2	3/16 1/4	.63	1-13/16	.54	#6-32	26
A 5Z 8-D508 A 5Z 8-D510 A 5Z 8-D512	5/8	1/4 5/16 3/8	.86	2-41/64	.68	#8-32	60

*One set screw each end.



INCH

Molded Universal Joints

■ DOUBLE JOINT

■ ELECTRICALLY INSULATING

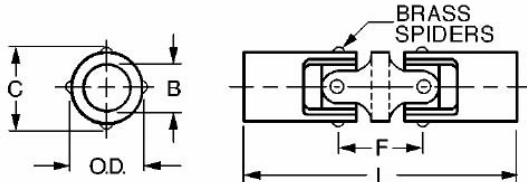


FIG. 1 PLAIN

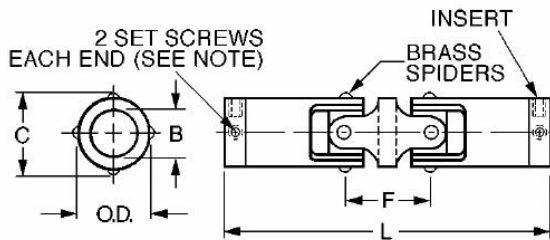
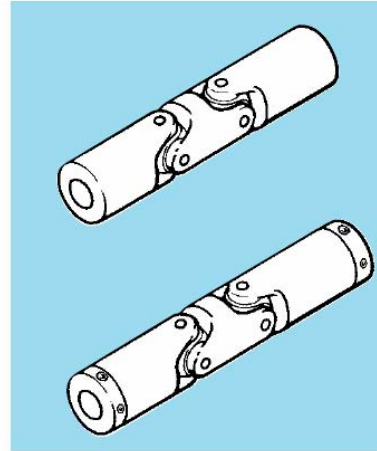


FIG. 2 WITH INSERT

MATERIAL: Body - Molded Acetal
Spider & Insert - Nickel Plated Brass

SPECIFICATIONS: Angular Displacement - 90° Max.
Operating Temperature - 180°F Max.



● FIG. 1 PLAIN								
Catalog Number	O.D.	B ⁺⁰⁰⁰ -.002 Bore	Bore Depth (Typ)	L Overall Length	C Dim.	F Dim.	Max. Ult. Torque lb. in.	Max. Parallel Offset
A 5T 8-DD204 A 5T 8-DD206	1/4	1/8 3/16	.23	1-1/16	.27	5/16	2.5	.22
A 5T 8-DD306 A 5T 8-DD308	3/8	3/16 1/4	.34	1-41/64	.41	17/32	7	.36
A 5T 8-DD406 A 5T 8-DD408 A 5T 8-DD410	1/2	3/16 1/4 5/16	.42	2-1/64	.54	5/8	12	.43
A 5T 8-DD508 A 5T 8-DD510 A 5T 8-DD512 A 5T 8-DD514	5/8	1/4 5/16 3/8 7/16	.58	2-61/64	.68	7/8	47	.61

● FIG. 2 WITH INSERT									
Catalog Number	O.D.	B ⁺⁰⁰¹ -.000 Bore	Bore Depth (Typ)	L Overall Length	C Dim.	F Dim.	Set Screw	Max. Ult. Torque lb. in.	Max. Parallel Offset
A 5Z 8-DD204	1/4	* 1/8	.39	1-23/64	.27	5/16	#4-40	2.5	.22
A 5Z 8-DD304 A 5Z 8-DD306	3/8	* 1/8 3/16	.52	2	.41	17/32	#4-40	7	.36
A 5Z 8-DD406 A 5Z 8-DD408	1/2	3/16 1/4	.63	2-7/16	.54	5/8	#6-32	12	.43
A 5Z 8-DD508 A 5Z 8-DD510 A 5Z 8-DD512	5/8	1/4 5/16 3/8	.86	3-33/64	.68	7/8	#8-32	47	.61

*NOTE: One set screw each end.

Anexo C

Programa de “Motion”

Nombre de variable	Función
Dt	$2*\pi*(10*((\text{time}/n)**3)-15*((\text{time}/n)**4)+6*((\text{time}/n)**5))$
tmpz	$z1+(z2-z1)*(10*((\text{time}/n)**3)-15*((\text{time}/n)**4)+6*((\text{time}/n)**5))$
tmpy	$y1+(y2-y1)*(10*((\text{time}/n)**3)-15*((\text{time}/n)**4)+6*((\text{time}/n)**5))$
tmpx	$x1+(x2-x1)*(10*((\text{time}/n)**3)-15*((\text{time}/n)**4)+6*((\text{time}/n)**5))$
r	240
n	1
T3	$0.760078165-(\text{atan2}(B3,A3)+\text{acos}(-C3/\text{sqrt}(A3*A3+B3*B3)))$
T2	$0.760078165-(\text{atan2}(B2,A2)+\text{acos}(-C2/\text{sqrt}(A2*A2+B2*B2)))$
C3	$d13*d13+d14*d14+d17*d17+d2*d2+d4*d4+d5*d5+d6*d6-d9*d9$ $+x*x+y*y+z*z+2*(d17*x-d14*y)*\cos(d16III)$ $-2*(d17*d2+d14*d5)*\cos(d16III-d1III)-2*d2*x*\cos(d1III)$ $+2*d5*y*\cos(d1III)+2*(d13*z*\cos(d15I)+d14*x*\sin(d16III)$ $+d17*y*\sin(d16III)-d14*d2*\sin(d16III-d1III)+d17*d5*\sin(d16III-d1III)$ $+d13*\sin(d15I)*(d17+x*\cos(d16III)-d2*\cos(d16III-d1III)$ $+y*\sin(d16III)+d5*\sin(d16III-d1III))-(d5*x+d2*y)*\sin(d1III)$
C2	$d13*d13+d14*d14+d17*d17+d2*d2+d4*d4+d5*d5+d6*d6-d9*d9$ $+x*x+y*y+z*z+2*(d17*x-d14*y)*\cos(d16II)$ $-2*(d17*d2+d14*d5)*\cos(d16II-d1II)-2*d2*x*\cos(d1II)$ $+2*d5*y*\cos(d1II)+2*(d13*z*\cos(d15I)+d14*x*\sin(d16II)$ $+d17*y*\sin(d16II)-d14*d2*\sin(d16II-d1II)+d17*d5*\sin(d16II-d1II)$ $+d13*\sin(d15I)*(d17+x*\cos(d16II)-d2*\cos(d16II-d1II)$ $+y*\sin(d16II)+d5*\sin(d16II-d1II))-(d5*x+d2*y)*\sin(d1II)$
B3	$2*(-d2*d6+d4*z+d13*d4*\cos(d15I)+d6*(x*\cos(d1III)$ $+\cos(d16III-d1III)*(d17+d13*\sin(d15I))+d14*\sin(d16III-d1III)$ $+y*\sin(d1III)))$
B2	$2*(-d2*d6+d4*z+d13*d4*\cos(d15I)+d6*(x*\cos(d1II)$

	$+\cos(d16II-d1II)*(d17+d13*\sin(d15I))+d14*\sin(d16II-d1II)$
	$+y*\sin(d1II))$
A3	$2*(d2*d4+d6*z+d13*d6*\cos(d15I)-d4*(x*\cos(d1III)$ $+\cos(d16III-d1III)*(d17+d13*\sin(d15I))+d14*\sin(d16III-d1III)$ $+y*\sin(d1III))$
A2	$2*(d2*d4+d6*z+d13*d6*\cos(d15I)-d4*(x*\cos(d1II)$ $+\cos(d16II-d1II)*(d17+d13*\sin(d15I))+d14*\sin(d16II-d1II)$ $+y*\sin(d1II))$
d16III	d1III
d1III	2.094395102
d16II	d1II
d1II	4.188790205
T1	$0.760078165-(\text{atan2}(B1,A1)+\text{acos}(-C1/\sqrt{A1*A1+B1*B1}))$
C1	$d13*d13+d14*d14+d17*d17+d2*d2+d4*d4+d5*d5+d6*d6-d9*d9$ $+x*x+y*y+z*z+2*(d17*x-d14*y)*\cos(d16I)$ $-2*(d17*d2+d14*d5)*\cos(d16I-d1I)-2*d2*x*\cos(d1I)$ $+2*d5*y*\cos(d1I)+2*(d13*z*\cos(d15I)+d14*x*\sin(d16I)$ $+d17*y*\sin(d16I)-d14*d2*\sin(d16I-d1I)+d17*d5*\sin(d16I-d1I)$ $+d13*\sin(d15I)*(d17+x*\cos(d16I)-d2*\cos(d16I-d1I)$ $+y*\sin(d16I)+d5*\sin(d16I-d1I))-(d5*x+d2*y)*\sin(d1I)$
B1	$2*(-d2*d6+d4*z+d13*d4*\cos(d15I)+d6*(x*\cos(d1I)$ $+\cos(d16I-d1I)*(d17+d13*\sin(d15I))+d14*\sin(d16I-d1I)$ $+y*\sin(d1I))$
A1	$2*(d2*d4+d6*z+d13*d6*\cos(d15I)-d4*(x*\cos(d1I)$ $+\cos(d16I-d1I)*(d17+d13*\sin(d15I))+d14*\sin(d16I-d1I)$ $+y*\sin(d1I))$
z	$z1+(z2-z1)*\text{time}$
y	$r*\text{SIN}(Dt)$
x	$r*\cos(Dt)$
z2	-452

y2	0
x2	-240
z1	-452
y1	0
x1	240
d16I	d1I
d15I	0.844844078
d1I	0
d17	35.04700538379
d14	d5
d13	d6
d9	385.52961474091
d6	41.22114566
d5	13.5
d4	243.5
d2	183.41234017852

Anexo D

Datos de gráficas

Aceleración de la plataforma móvil para un segundo en trayectoria recta

Step	drv motor1, revolute	drv motor2, revolute	drv motor3, revolute	A027 MAG,Acceleration(rel)
0	39.6903	-29.2097	-29.2097	0.0017
1	39.6900	-29.2085	-29.2085	279.6933
2	39.6877	-29.2003	-29.2003	542.4343
3	39.6815	-29.1786	-29.1786	788.5731
4	39.6698	-29.1373	-29.1373	1018.4438
5	39.6508	-29.0706	-29.0706	1232.3960
6	39.6229	-28.9733	-28.9733	1430.7807
7	39.5847	-28.8408	-28.8408	1613.9314
8	39.5347	-28.6687	-28.6687	1782.1962
9	39.4715	-28.4534	-28.4534	1935.9200
10	39.3937	-28.1918	-28.1918	2075.4499
11	39.2999	-27.8812	-27.8812	2201.1317
12	39.1887	-27.5197	-27.5197	2313.3073
13	39.0588	-27.1057	-27.1057	2412.3298
14	38.9086	-26.6383	-26.6383	2498.5411
15	38.7368	-26.1171	-26.1171	2572.2942
16	38.5418	-25.5421	-25.5421	2633.9357
17	38.3220	-24.9141	-24.9141	2683.8152
18	38.0758	-24.2339	-24.2339	2722.2777
19	37.8017	-23.5031	-23.5031	2749.6761
20	37.4977	-22.7233	-22.7233	2766.3556
21	37.1624	-21.8968	-21.8968	2772.6622
22	36.7937	-21.0258	-21.0258	2768.9498
23	36.3900	-20.1130	-20.1130	2755.5571
24	35.9495	-19.1613	-19.1613	2732.8385
25	35.4703	-18.1737	-18.1737	2701.1327
26	34.9508	-17.1533	-17.1533	2660.7930
27	34.3891	-16.1033	-16.1033	2612.1636
28	33.7836	-15.0272	-15.0272	2555.5869
29	33.1328	-13.9284	-13.9284	2491.4145
30	32.4353	-12.8104	-12.8104	2419.9901
31	31.6897	-11.6766	-11.6766	2341.6592
32	30.8950	-10.5305	-10.5305	2256.7678
33	30.0501	-9.3758	-9.3758	2165.6635
34	29.1544	-8.2160	-8.2160	2068.6892
35	28.2074	-7.0544	-7.0544	1966.1974
36	27.2088	-5.8946	-5.8946	1858.5266
37	26.1587	-4.7400	-4.7400	1746.0260
38	25.0575	-3.5940	-3.5940	1629.0386
39	23.9058	-2.4599	-2.4599	1507.9088
40	22.7045	-1.3408	-1.3408	1382.9827
41	21.4550	-0.2400	-0.2400	1254.6003
42	20.1588	0.8396	0.8396	1123.1071
43	18.8177	1.8950	1.8950	988.8477
44	17.4341	2.9234	2.9234	852.1613
45	16.0102	3.9222	3.9222	713.3969
46	14.5489	4.8888	4.8888	572.8921
47	13.0530	5.8210	5.8210	430.9956
48	11.5256	6.7165	6.7165	288.0418
49	9.9701	7.5734	7.5734	144.3867
50	8.3898	8.3898	8.3898	0.6464

Step	drv motor1, revolute	drv motor2, revolute	drv motor3, revolute	A027 MAG,Acceleration(rel)
51	6.7884	9.1643	9.1643	143.6634
52	5.1693	9.8956	9.8956	287.3655
53	3.5363	10.5824	10.5824	430.3883
54	1.8931	11.2239	11.2239	572.3927
55	0.2433	11.8195	11.8195	713.0238
56	-1.4095	12.3688	12.3688	851.9361
57	-3.0616	12.8717	12.8717	988.7840
58	-4.7095	13.3282	13.3282	1123.2156
59	-6.3498	13.7389	13.7389	1254.8851
60	-7.9791	14.1042	14.1042	1383.4527
61	-9.5942	14.4249	14.4249	1508.5617
62	-11.1920	14.7023	14.7023	1629.8574
63	-12.7692	14.9375	14.9375	1747.0113
64	-14.3231	15.1320	15.1320	1859.6490
65	-15.8508	15.2876	15.2876	1967.4555
66	-17.3495	15.4061	15.4061	2070.0632
67	-18.8167	15.4896	15.4896	2167.1295
68	-20.2497	15.5403	15.5403	2258.2977
69	-21.6462	15.5605	15.5605	2343.2375
70	-23.0037	15.5526	15.5526	2421.5890
71	-24.3201	15.5192	15.5192	2493.0082
72	-25.5933	15.4630	15.4630	2557.1467
73	-26.8210	15.3865	15.3865	2613.6597
74	-28.0015	15.2926	15.2926	2662.1924
75	-29.1328	15.1838	15.1838	2702.4258
76	-30.2134	15.0629	15.0629	2733.9713
77	-31.2415	14.9326	14.9326	2756.5163
78	-32.2158	14.7954	14.7954	2769.6974
79	-33.1350	14.6537	14.6537	2773.2078
80	-33.9980	14.5101	14.5101	2766.6440
81	-34.8042	14.3667	14.3667	2749.7124
82	-35.5527	14.2256	14.2256	2722.0444
83	-36.2433	14.0887	14.0887	2683.3060
84	-36.8758	13.9576	13.9576	2633.1713
85	-37.4507	13.8338	13.8338	2571.2859
86	-37.9684	13.7186	13.7186	2497.3070
87	-38.4298	13.6129	13.6129	2410.9125
88	-38.8364	13.5175	13.5175	2311.7258
89	-39.1897	13.4328	13.4328	2199.4674
90	-39.4920	13.3590	13.3590	2073.7141
91	-39.7458	13.2962	13.2962	1934.1786
92	-39.9540	13.2440	13.2440	1780.4852
93	-40.1200	13.2020	13.2020	1612.3045
94	-40.2477	13.1694	13.1694	1429.2828
95	-40.3412	13.1455	13.1455	1231.0967
96	-40.4053	13.1290	13.1290	1017.3481
97	-40.4450	13.1187	13.1187	787.7149
98	-40.4658	13.1133	13.1133	541.8562
99	-40.4737	13.1113	13.1113	279.3897
100	-40.4748	13.1110	13.1110	0.0068

Torques para un segundo en trayectoria recta

Step	motor1	motor2	motor3	motor1 R3,Force(rel)	motor2 R3,Force(rel)	motor3 R3,Force(rel)
0	39.6903	-29.2097	-29.2097	615.3321	-353.9213	-352.7265
1	39.6900	-29.2085	-29.2085	601.5460	-330.4197	-329.3494
2	39.6877	-29.2003	-29.2003	588.5396	-308.2445	-307.2906
3	39.6815	-29.1786	-29.1786	576.2547	-287.3524	-286.5072
4	39.6698	-29.1373	-29.1373	564.6301	-267.7202	-266.9746
5	39.6508	-29.0706	-29.0706	553.6024	-249.3367	-248.6783
6	39.6229	-28.9733	-28.9733	543.1047	-232.1985	-231.6130
7	39.5847	-28.8408	-28.8408	533.0723	-216.3060	-215.7779
8	39.5347	-28.6687	-28.6687	523.4379	-201.6579	-201.1701
9	39.4715	-28.4534	-28.4534	514.1342	-188.2477	-187.7823
10	39.3937	-28.1918	-28.1918	505.0935	-176.0601	-175.5985
11	39.2999	-27.8812	-27.8812	496.2490	-165.0673	-164.5921
12	39.1887	-27.5197	-27.5197	487.5342	-155.2281	-154.7244
13	39.0588	-27.1057	-27.1057	478.8828	-146.4868	-145.9417
14	38.9086	-26.6383	-26.6383	470.2305	-138.7740	-138.1786
15	38.7368	-26.1171	-26.1171	461.5144	-132.0070	-131.3563
16	38.5418	-25.5421	-25.5421	452.6750	-126.0930	-125.3864
17	38.3220	-24.9141	-24.9141	443.6564	-120.9326	-120.1710
18	38.0758	-24.2339	-24.2339	434.4070	-116.4205	-115.6100
19	37.8017	-23.5031	-23.5031	424.8807	-112.4497	-111.5998
20	37.4977	-22.7233	-22.7233	415.0387	-108.9170	-108.0364
21	37.1624	-21.8968	-21.8968	404.8479	-105.7215	-104.8222
22	36.7937	-21.0258	-21.0258	394.2828	-102.7698	-101.8630
23	36.3900	-20.1130	-20.1130	383.3283	-99.9762	-99.0737
24	35.9495	-19.1613	-19.1613	371.9748	-97.2645	-96.3769
25	35.4703	-18.1737	-18.1737	360.2247	-94.5686	-93.7055
26	34.9508	-17.1533	-17.1533	348.0862	-91.8319	-91.0017
27	34.3891	-16.1033	-16.1033	335.5776	-89.0085	-88.2182
28	33.7836	-15.0272	-15.0272	322.7253	-86.0624	-85.3163
29	33.1328	-13.9284	-13.9284	309.5624	-82.9648	-82.2673
30	32.4353	-12.8104	-12.8104	296.1291	-79.6971	-79.0498
31	31.6897	-11.6766	-11.6766	282.4723	-76.2454	-75.6505
32	30.8950	-10.5305	-10.5305	268.6418	-72.6054	-72.0613
33	30.0501	-9.3758	-9.3758	254.6914	-68.7744	-68.2816
34	29.1544	-8.2160	-8.2160	240.6773	-64.7569	-64.3133
35	28.2074	-7.0544	-7.0544	226.6548	-60.5599	-60.1625
36	27.2088	-5.8946	-5.8946	212.6790	-56.1928	-55.8395
37	26.1587	-4.7400	-4.7400	198.8015	-51.6676	-51.3549
38	25.0575	-3.5940	-3.5940	185.0702	-46.9971	-46.7213
39	23.9058	-2.4599	-2.4599	171.5263	-42.1945	-41.9528
40	22.7045	-1.3408	-1.3408	158.2045	-37.2733	-37.0625
41	21.4550	-0.2400	-0.2400	145.1322	-32.2470	-32.0629
42	20.1588	0.8396	0.8396	132.3277	-27.1267	-26.9667
43	18.8177	1.8950	1.8950	119.8004	-21.9237	-21.7840
44	17.4341	2.9234	2.9234	107.5521	-16.6461	-16.5244
45	16.0102	3.9222	3.9222	95.5751	-11.3015	-11.1940
46	14.5489	4.8888	4.8888	83.8552	-5.8946	-5.7989
47	13.0530	5.8210	5.8210	72.3712	-0.4278	-0.3419
48	11.5256	6.7165	6.7165	61.0976	5.0970	5.1761
49	9.9701	7.5734	7.5734	50.0041	10.6826	10.7567
50	8.3898	8.3898	8.3898	39.0578	16.3307	16.4019

Step	motor1	motor2	motor3	motor1 R3,Force(rel)	motor2 R3,Force(rel)	motor3 R3,Force(rel)
51	6.7884	9.1643	9.1643	28.2266	22.0468	22.1169
52	5.1693	9.8956	9.8956	17.4772	27.8360	27.9065
53	3.5363	10.5824	10.5824	6.7784	33.7052	33.7775
54	1.8931	11.2239	11.2239	-3.8976	39.6606	39.7367
55	0.2433	11.8195	11.8195	-14.5766	45.7102	45.7910
56	-1.4095	12.3688	12.3688	-25.2795	51.8605	51.9470
57	-3.0616	12.8717	12.8717	-36.0230	58.1175	58.2110
58	-4.7095	13.3282	13.3282	-46.8200	64.4866	64.5879
59	-6.3498	13.7389	13.7389	-57.6788	70.9713	71.0812
60	-7.9791	14.1042	14.1042	-68.6024	77.5743	77.6936
61	-9.5942	14.4249	14.4249	-79.5925	84.2968	84.4265
62	-11.1920	14.7023	14.7023	-90.6477	91.1382	91.2789
63	-12.7692	14.9375	14.9375	-101.7608	98.0954	98.2474
64	-14.3231	15.1320	15.1320	-112.9279	105.1649	105.3294
65	-15.8508	15.2876	15.2876	-124.1379	112.3391	112.5165
66	-17.3495	15.4061	15.4061	-135.3845	119.6112	119.8019
67	-18.8167	15.4896	15.4896	-146.6593	126.9702	127.1756
68	-20.2497	15.5403	15.5403	-157.9567	134.4049	134.6248
69	-21.6462	15.5605	15.5605	-169.2695	141.9009	142.1363
70	-23.0037	15.5526	15.5526	-180.5974	149.4416	149.6934
71	-24.3201	15.5192	15.5192	-191.9410	157.0096	157.2786
72	-25.5933	15.4630	15.4630	-203.3061	164.5840	164.8708
73	-26.8210	15.3865	15.3865	-214.7031	172.1419	172.4476
74	-28.0015	15.2926	15.2926	-226.1492	179.6591	179.9841
75	-29.1328	15.1838	15.1838	-237.6638	187.1078	187.4538
76	-30.2134	15.0629	15.0629	-249.2818	194.4602	194.8278
77	-31.2415	14.9326	14.9326	-261.0361	201.6864	202.0762
78	-32.2158	14.7954	14.7954	-272.9739	208.7546	209.1675
79	-33.1350	14.6537	14.6537	-285.1429	215.6325	216.0691
80	-33.9980	14.5101	14.5101	-297.6105	222.2902	222.7509
81	-34.8042	14.3667	14.3667	-310.4377	228.6959	229.1812
82	-35.5527	14.2256	14.2256	-323.7013	234.8226	235.3326
83	-36.2433	14.0887	14.0887	-337.4797	240.6448	241.1793
84	-36.8758	13.9576	13.9576	-351.8546	246.1415	246.7002
85	-37.4507	13.8338	13.8338	-366.9149	251.2981	251.8804
86	-37.9684	13.7186	13.7186	-382.7500	256.1052	256.7108
87	-38.4298	13.6129	13.6129	-399.4480	260.5610	261.1881
88	-38.8364	13.5175	13.5175	-417.1035	264.6721	265.3204
89	-39.1897	13.4328	13.4328	-435.7985	268.4519	269.1197
90	-39.4920	13.3590	13.3590	-455.6318	271.9240	272.6098
91	-39.7458	13.2962	13.2962	-476.6840	275.1176	275.8203
92	-39.9540	13.2440	13.2440	-499.0463	278.0708	278.7889
93	-40.1200	13.2020	13.2020	-522.8043	280.8272	281.5593
94	-40.2477	13.1694	13.1694	-548.0481	283.4344	284.1799
95	-40.3412	13.1455	13.1455	-574.8671	285.9448	286.7023
96	-40.4053	13.1290	13.1290	-603.3653	288.4111	289.1797
97	-40.4450	13.1187	13.1187	-633.6439	290.8846	291.6637
98	-40.4658	13.1133	13.1133	-665.8153	293.4131	294.2030
99	-40.4737	13.1113	13.1113	-700.0087	296.0400	296.8405
100	-40.4748	13.1110	13.1110	-736.3572	298.7981	299.6092

Fuerzas en juntas para un segundo

Step	drv motor1	drv motor2	drv motor3	TIME	juis1 X,Force(rel)
0	39.6903	-29.2097	-29.2097	0.0000	1.6147
1	39.6903	-29.2112	-29.2081	0.0100	1.3578
2	39.6903	-29.2218	-29.1975	0.0200	1.1154
3	39.6903	-29.2499	-29.1693	0.0300	0.8858
4	39.6900	-29.3034	-29.1154	0.0400	0.6672
5	39.6890	-29.3895	-29.0280	0.0500	0.4579
6	39.6864	-29.5145	-28.8994	0.0600	0.2561
7	39.6806	-29.6838	-28.7224	0.0700	0.0603
8	39.6694	-29.9019	-28.4891	0.0800	-0.1309
9	39.6492	-30.1718	-28.1919	0.0900	-0.3186
10	39.6154	-30.4956	-27.8224	0.1000	-0.5034
11	39.5618	-30.8737	-27.3719	0.1100	-0.6854
12	39.4807	-31.3054	-26.8306	0.1200	-0.8641
13	39.3625	-31.7882	-26.1882	0.1300	-1.0386
14	39.1956	-32.3185	-25.4332	0.1400	-1.2070
15	38.9667	-32.8911	-24.5528	0.1500	-1.3668
16	38.6600	-33.4994	-23.5333	0.1600	-1.5149
17	38.2581	-34.1359	-22.3598	0.1700	-1.6473
18	37.7411	-34.7918	-21.0165	0.1800	-1.7594
19	37.0876	-35.4577	-19.4870	0.1900	-1.8460
20	36.2741	-36.1235	-17.7546	0.2000	-1.9011
21	35.2758	-36.7788	-15.8034	0.2100	-1.9185
22	34.0672	-37.4130	-13.6194	0.2200	-1.8912
23	32.6218	-38.0154	-11.1915	0.2300	-1.8122
24	30.9142	-38.5755	-8.5136	0.2400	-1.6745
25	28.9202	-39.0830	-5.5863	0.2500	-1.4709
26	26.6186	-39.5275	-2.4190	0.2600	-1.1942
27	23.9933	-39.8991	0.9686	0.2700	-0.8371
28	21.0352	-40.1873	4.5448	0.2800	-0.3916
29	17.7450	-40.3815	8.2659	0.2900	0.1509
30	14.1358	-40.4704	12.0763	0.3000	0.7993
31	10.2360	-40.4416	15.9105	0.3100	1.5614
32	6.0904	-40.2808	19.6955	0.3200	2.4405
33	1.7614	-39.9718	23.3542	0.3300	3.4308
34	-2.6730	-39.4955	26.8086	0.3400	4.5117
35	-7.1232	-38.8291	29.9833	0.3500	5.6410
36	-11.4946	-37.9455	32.8078	0.3600	6.7525
37	-15.6950	-36.8126	35.2180	0.3700	7.7587
38	-19.6436	-35.3931	37.1574	0.3800	8.5640
39	-23.2765	-33.6442	38.5764	0.3900	9.0845
40	-26.5512	-31.5192	39.4321	0.4000	9.2695
41	-29.4463	-28.9698	39.6879	0.4100	9.1153
42	-31.9588	-25.9513	39.3132	0.4200	8.6672
43	-34.0998	-22.4296	38.2833	0.4300	8.0119
44	-35.8889	-18.3909	36.5813	0.4400	7.2638
45	-37.3499	-13.8521	34.2002	0.4500	6.5494
46	-38.5070	-8.8682	31.1469	0.4600	5.9849
47	-39.3822	-3.5357	27.4469	0.4700	5.6490
48	-39.9938	2.0122	23.1501	0.4800	5.5550
49	-40.3552	7.6169	18.3349	0.4900	5.6351
50	-40.4748	13.1110	13.1110	0.5000	5.7494

Step	drv motor1	drv motor2	drv motor3	TIME	juis1 X,Force(rel)
51	-40.3552	18.3349	7.6169	0.5100	5.7206
52	-39.9938	23.1501	2.0122	0.5200	5.3831
53	-39.3822	27.4469	-3.5357	0.5300	4.6301
54	-38.5070	31.1469	-8.8682	0.5400	3.4429
55	-37.3499	34.2002	-13.8521	0.5500	1.8932
56	-35.8889	36.5813	-18.3909	0.5600	0.1199
57	-34.0998	38.2833	-22.4296	0.5700	-1.7060
58	-31.9588	39.3132	-25.9513	0.5800	-3.4146
59	-29.4463	39.6879	-28.9698	0.5900	-4.8608
60	-26.5512	39.4321	-31.5192	0.6000	-5.9402
61	-23.2765	38.5764	-33.6442	0.6100	-6.5985
62	-19.6436	37.1574	-35.3931	0.6200	-6.8350
63	-15.6950	35.2180	-36.8126	0.6300	-6.6963
64	-11.4946	32.8078	-37.9455	0.6400	-6.2600
65	-7.1232	29.9833	-38.8291	0.6500	-5.6137
66	-2.6730	26.8086	-39.4955	0.6600	-4.8375
67	1.7614	23.3542	-39.9718	0.6700	-3.9940
68	6.0904	19.6955	-40.2808	0.6800	-3.1274
69	10.2360	15.9105	-40.4416	0.6900	-2.2676
70	14.1358	12.0763	-40.4704	0.7000	-1.4344
71	17.7450	8.2659	-40.3815	0.7100	-0.6424
72	21.0352	4.5448	-40.1873	0.7200	0.0977
73	23.9933	0.9686	-39.8991	0.7300	0.7776
74	26.6186	-2.4190	-39.5275	0.7400	1.3914
75	28.9202	-5.5863	-39.0830	0.7500	1.9352
76	30.9142	-8.5136	-38.5755	0.7600	2.4077
77	32.6218	-11.1915	-38.0154	0.7700	2.8096
78	34.0672	-13.6194	-37.4130	0.7800	3.1434
79	35.2758	-15.8034	-36.7788	0.7900	3.4132
80	36.2741	-17.7546	-36.1235	0.8000	3.6238
81	37.0876	-19.4870	-35.4577	0.8100	3.7806
82	37.7411	-21.0165	-34.7918	0.8200	3.8891
83	38.2581	-22.3598	-34.1359	0.8300	3.9546
84	38.6600	-23.5333	-33.4994	0.8400	3.9822
85	38.9667	-24.5528	-32.8911	0.8500	3.9765
86	39.1956	-25.4332	-32.3185	0.8600	3.9416
87	39.3625	-26.1882	-31.7882	0.8700	3.8811
88	39.4807	-26.8306	-31.3054	0.8800	3.7983
89	39.5618	-27.3719	-30.8737	0.8900	3.6959
90	39.6154	-27.8224	-30.4956	0.9000	3.5758
91	39.6492	-28.1919	-30.1718	0.9100	3.4399
92	39.6694	-28.4891	-29.9019	0.9200	3.2895
93	39.6806	-28.7224	-29.6838	0.9300	3.1256
94	39.6864	-28.8994	-29.5145	0.9400	2.9486
95	39.6890	-29.0280	-29.3895	0.9500	2.7590
96	39.6900	-29.1154	-29.3034	0.9600	2.5568
97	39.6903	-29.1693	-29.2499	0.9700	2.3418
98	39.6903	-29.1975	-29.2218	0.9800	2.1135
99	39.6903	-29.2081	-29.2112	0.9900	1.8714
100	39.6903	-29.2097	-29.2097	1.0000	1.6147

Desplazamiento angular en junta esférica

Step	motor1	motor2	motor3	TIME	juii1 R1,Disp.(abs)	juii1 R2,Disp.(abs)	juii1 R3,Disp.(abs)
0	39.6903	-29.2097	-29.2097	0.0000	-75.5375	0.1449	-104.3880
1	39.6903	-29.2112	-29.2081	0.0100	-75.5378	0.1449	-104.3877
2	39.6903	-29.2218	-29.1975	0.0200	-75.5403	0.1450	-104.3852
3	39.6903	-29.2499	-29.1693	0.0300	-75.5467	0.1452	-104.3787
4	39.6900	-29.3034	-29.1154	0.0400	-75.5591	0.1455	-104.3662
5	39.6890	-29.3895	-29.0280	0.0500	-75.5792	0.1461	-104.3459
6	39.6864	-29.5145	-28.8994	0.0600	-75.6089	0.1469	-104.3160
7	39.6806	-29.6838	-28.7224	0.0700	-75.6498	0.1480	-104.2747
8	39.6694	-29.9019	-28.4891	0.0800	-75.7039	0.1495	-104.2201
9	39.6492	-30.1718	-28.1919	0.0900	-75.7730	0.1512	-104.1504
10	39.6154	-30.4956	-27.8224	0.1000	-75.8593	0.1534	-104.0634
11	39.5618	-30.8737	-27.3719	0.1100	-75.9649	0.1559	-103.9570
12	39.4807	-31.3054	-26.8306	0.1200	-76.0920	0.1588	-103.8290
13	39.3625	-31.7882	-26.1882	0.1300	-76.2431	0.1620	-103.6768
14	39.1956	-32.3185	-25.4332	0.1400	-76.4208	0.1654	-103.4981
15	38.9667	-32.8911	-24.5528	0.1500	-76.6275	0.1691	-103.2902
16	38.6600	-33.4994	-23.5333	0.1600	-76.8659	0.1728	-103.0507
17	38.2581	-34.1359	-22.3598	0.1700	-77.1386	0.1765	-102.7769
18	37.7411	-34.7918	-21.0165	0.1800	-77.4483	0.1799	-102.4662
19	37.0876	-35.4577	-19.4870	0.1900	-77.7973	0.1828	-102.1164
20	36.2741	-36.1235	-17.7546	0.2000	-78.1883	0.1850	-101.7249
21	35.2758	-36.7788	-15.8034	0.2100	-78.6236	0.1861	-101.2893
22	34.0672	-37.4130	-13.6194	0.2200	-79.1059	0.1859	-100.8074
23	32.6218	-38.0154	-11.1915	0.2300	-79.6377	0.1841	-100.2763
24	30.9142	-38.5755	-8.5136	0.2400	-80.2221	0.1803	-99.6933
25	28.9202	-39.0830	-5.5863	0.2500	-80.8624	0.1745	-99.0551
26	26.6186	-39.5275	-2.4190	0.2600	-81.5626	0.1666	-98.3577
27	23.9933	-39.8991	0.9686	0.2700	-82.3274	0.1566	-97.5963
28	21.0352	-40.1873	4.5448	0.2800	-83.1624	0.1450	-96.7654
29	17.7450	-40.3815	8.2659	0.2900	-84.0740	0.1319	-95.8584
30	14.1358	-40.4704	12.0763	0.3000	-85.0698	0.1180	-94.8676
31	10.2360	-40.4416	15.9105	0.3100	-86.1586	0.1036	-93.7841
32	6.0904	-40.2808	19.6955	0.3200	-87.3509	0.0893	-92.5971
33	1.7614	-39.9718	23.3542	0.3300	-88.6601	0.0756	-91.2932
34	-2.6730	-39.4955	26.8086	0.3400	-90.1053	0.0628	-89.8533
35	-7.1232	-38.8291	29.9833	0.3500	-91.7137	0.0512	-88.2498
36	-11.4946	-37.9455	32.8078	0.3600	-93.5243	0.0411	-86.4437
37	-15.6950	-36.8126	35.2180	0.3700	-95.5816	0.0327	-84.3905
38	-19.6436	-35.3931	37.1574	0.3800	-97.9053	0.0261	-82.0702
39	-23.2765	-33.6442	38.5764	0.3900	-100.4082	0.0213	-79.5699
40	-26.5512	-31.5192	39.4321	0.4000	-102.7844	0.0186	-77.1954
41	-29.4463	-28.9698	39.6879	0.4100	-104.5594	0.0179	-75.4210
42	-31.9588	-25.9513	39.3132	0.4200	-105.4751	0.0192	-74.5047
43	-34.0998	-22.4296	38.2833	0.4300	-105.7639	0.0225	-74.2137
44	-35.8889	-18.3909	36.5813	0.4400	-105.8645	0.0278	-74.1094
45	-37.3499	-13.8521	34.2002	0.4500	-106.0661	0.0351	-73.9022
46	-38.5070	-8.8682	31.1469	0.4600	-106.4610	0.0443	-73.4997
47	-39.3822	-3.5357	27.4469	0.4700	-107.0338	0.0551	-72.9170
48	-39.9938	2.0122	23.1501	0.4800	-107.7286	0.0674	-72.2102
49	-40.3552	7.6169	18.3349	0.4900	-108.4768	0.0807	-71.4480
50	-40.4748	13.1110	13.1110	0.5000	-109.2075	0.0943	-70.7014

Step	motor1	motor2	motor3	TIME	jiii1 R1,Disp.(abs)	jiii1 R2,Disp.(abs)	jiii1 R3,Disp.(abs)
51	-40.3552	18.3349	7.6169	0.5100	-109.8528	0.1076	-70.0394
52	-39.9938	23.1501	2.0122	0.5200	-110.3509	0.1193	-69.5248
53	-39.3822	27.4469	-3.5357	0.5300	-110.6488	0.1285	-69.2124
54	-38.5070	31.1469	-8.8682	0.5400	-110.7021	0.1340	-69.1480
55	-37.3499	34.2002	-13.8521	0.5500	-110.4758	0.1352	-69.3681
56	-35.8889	36.5813	-18.3909	0.5600	-109.9426	0.1321	-69.9006
57	-34.0998	38.2833	-22.4296	0.5700	-109.0841	0.1252	-70.7638
58	-31.9588	39.3132	-25.9513	0.5800	-107.8916	0.1156	-71.9656
59	-29.4463	39.6879	-28.9698	0.5900	-106.3689	0.1043	-73.5010
60	-26.5512	39.4321	-31.5192	0.6000	-104.5348	0.0924	-75.3498
61	-23.2765	38.5764	-33.6442	0.6100	-102.4254	0.0807	-77.4747
62	-19.6436	37.1574	-35.3931	0.6200	-100.0951	0.0699	-79.8200
63	-15.6950	35.2180	-36.8126	0.6300	-97.6166	0.0603	-82.3123
64	-11.4946	32.8078	-37.9455	0.6400	-95.0762	0.0521	-84.8648
65	-7.1232	29.9833	-38.8291	0.6500	-92.5635	0.0453	-87.3875
66	-2.6730	26.8086	-39.4955	0.6600	-90.1550	0.0399	-89.8040
67	1.7614	23.3542	-39.9718	0.6700	-87.8962	0.0359	-92.0688
68	6.0904	19.6955	-40.2808	0.6800	-85.7954	0.0332	-94.1737
69	10.2360	15.9105	-40.4416	0.6900	-83.8373	0.0319	-96.1342
70	14.1358	12.0763	-40.4704	0.7000	-82.0124	0.0319	-97.9601
71	17.7450	8.2659	-40.3815	0.7100	-80.3385	0.0331	-99.6337
72	21.0352	4.5448	-40.1873	0.7200	-78.8559	0.0356	-101.1151
73	23.9933	0.9686	-39.8991	0.7300	-77.6031	0.0392	-102.3660
74	26.6186	-2.4190	-39.5275	0.7400	-76.5963	0.0439	-103.3703
75	28.9202	-5.5863	-39.0830	0.7500	-75.8262	0.0494	-104.1375
76	30.9142	-8.5136	-38.5755	0.7600	-75.2655	0.0557	-104.6951
77	32.6218	-11.1915	-38.0154	0.7700	-74.8793	0.0625	-105.0781
78	34.0672	-13.6194	-37.4130	0.7800	-74.6327	0.0697	-105.3215
79	35.2758	-15.8034	-36.7788	0.7900	-74.4941	0.0770	-105.4569
80	36.2741	-17.7546	-36.1235	0.8000	-74.4373	0.0843	-105.5106
81	37.0876	-19.4870	-35.4577	0.8100	-74.4405	0.0915	-105.5045
82	37.7411	-21.0165	-34.7918	0.8200	-74.4867	0.0984	-105.4556
83	38.2581	-22.3598	-34.1359	0.8300	-74.5620	0.1049	-105.3778
84	38.6600	-23.5333	-33.4994	0.8400	-74.6556	0.1110	-105.2818
85	38.9667	-24.5528	-32.8911	0.8500	-74.7593	0.1165	-105.1761
86	39.1956	-25.4332	-32.3185	0.8600	-74.8664	0.1215	-105.0672
87	39.3625	-26.1882	-31.7882	0.8700	-74.9720	0.1259	-104.9600
88	39.4807	-26.8306	-31.3054	0.8800	-75.0724	0.1298	-104.8583
89	39.5618	-27.3719	-30.8737	0.8900	-75.1648	0.1331	-104.7647
90	39.6154	-27.8224	-30.4956	0.9000	-75.2475	0.1360	-104.6810
91	39.6492	-28.1919	-30.1718	0.9100	-75.3194	0.1383	-104.6083
92	39.6694	-28.4891	-29.9019	0.9200	-75.3800	0.1402	-104.5471
93	39.6806	-28.7224	-29.6838	0.9300	-75.4293	0.1417	-104.4973
94	39.6864	-28.8994	-29.5145	0.9400	-75.4678	0.1429	-104.4584
95	39.6890	-29.0280	-29.3895	0.9500	-75.4963	0.1437	-104.4296
96	39.6900	-29.1154	-29.3034	0.9600	-75.5160	0.1443	-104.4097
97	39.6903	-29.1693	-29.2499	0.9700	-75.5283	0.1446	-104.3974
98	39.6903	-29.1975	-29.2218	0.9800	-75.5347	0.1448	-104.3908
99	39.6903	-29.2081	-29.2112	0.9900	-75.5371	0.1449	-104.3884
100	39.6903	-29.2097	-29.2097	1.0000	-75.5375	0.1449	-104.3880

Cargas en brazo para trayectoria circular en un segundo (parte1)												
Step	motor1_i_FX	motor1_i_FY	motor1_i_FZ	motor1_i_FM	motor1_i_TX	motor1_i_TY	motor1_i_TZ	motor1_i_TM	juis1_i_FX	juis1_i_FY	juis1_i_FZ	juis1_i_FM
0	5.141	0.000	6.557	8.332	130.525	615.332	-102.200	637.272	-0.794	0.000	-1.410	1.618
1	5.141	0.021	6.557	8.332	121.718	615.358	-103.616	635.781	-0.682	-0.010	-1.178	1.362
2	5.141	0.039	6.557	8.332	113.485	615.238	-104.811	634.336	-0.577	-0.020	-0.960	1.120
3	5.142	0.056	6.555	8.332	105.844	614.630	-105.667	632.565	-0.477	-0.029	-0.753	0.892
4	5.144	0.070	6.551	8.330	98.798	613.021	-106.079	629.928	-0.382	-0.037	-0.556	0.676
5	5.149	0.080	6.542	8.325	92.341	609.772	-105.956	625.760	-0.291	-0.045	-0.368	0.472
6	5.157	0.086	6.526	8.318	86.460	604.151	-105.224	619.311	-0.204	-0.054	-0.186	0.282
7	5.169	0.089	6.502	8.307	81.136	595.374	-103.823	609.780	-0.120	-0.063	-0.010	0.136
8	5.186	0.087	6.467	8.290	76.346	582.625	-101.714	596.344	-0.039	-0.074	0.163	0.183
9	5.210	0.081	6.419	8.267	72.066	565.095	-98.883	578.190	0.040	-0.087	0.332	0.346
10	5.241	0.070	6.356	8.238	68.268	541.992	-95.342	554.532	0.117	-0.103	0.499	0.523
11	5.280	0.055	6.276	8.202	64.924	512.568	-91.136	524.640	0.192	-0.123	0.663	0.701
12	5.327	0.035	6.179	8.158	62.004	476.136	-86.343	487.858	0.264	-0.148	0.824	0.878
13	5.385	0.012	6.062	8.108	59.477	432.080	-81.081	443.627	0.331	-0.178	0.982	1.051
14	5.453	-0.015	5.927	8.053	57.313	379.873	-75.507	391.522	0.393	-0.213	1.134	1.219
15	5.531	-0.045	5.772	7.994	55.480	319.087	-69.823	331.315	0.449	-0.254	1.279	1.379
16	5.622	-0.076	5.600	7.935	53.948	249.413	-64.274	263.151	0.495	-0.301	1.413	1.527
17	5.724	-0.108	5.412	7.878	52.694	170.676	-59.150	188.163	0.529	-0.352	1.533	1.659
18	5.841	-0.140	5.212	7.829	51.702	82.862	-54.781	111.983	0.549	-0.406	1.635	1.772
19	5.971	-0.169	5.005	7.793	50.975	-13.838	-51.541	73.800	0.552	-0.461	1.714	1.859
20	6.116	-0.195	4.798	7.776	50.547	-118.972	-49.834	138.538	0.535	-0.513	1.766	1.915
21	6.276	-0.216	4.599	7.783	50.496	-231.739	-50.085	242.408	0.495	-0.557	1.785	1.934
22	6.449	-0.229	4.418	7.820	50.966	-350.880	-52.718	358.460	0.431	-0.589	1.765	1.910
23	6.631	-0.232	4.269	7.890	52.190	-474.518	-58.121	480.905	0.342	-0.601	1.700	1.835
24	6.816	-0.225	4.167	7.992	54.516	-599.967	-66.594	606.109	0.228	-0.587	1.585	1.705
25	6.992	-0.204	4.125	8.120	58.429	-723.517	-78.265	730.079	0.092	-0.537	1.413	1.514
26	7.140	-0.169	4.159	8.265	64.562	-840.202	-92.973	847.792	-0.061	-0.443	1.179	1.261
27	7.234	-0.120	4.281	8.407	73.674	-943.639	-110.107	952.894	-0.226	-0.295	0.878	0.953
28	7.242	-0.060	4.494	8.523	86.565	-1026.016	-128.416	1037.638	-0.393	-0.086	0.502	0.643
29	7.125	0.009	4.789	8.585	103.890	-1078.381	-145.822	1093.144	-0.549	0.193	0.046	0.584
30	6.844	0.078	5.144	8.562	125.843	-1091.408	-159.337	1110.133	-0.681	0.551	-0.496	1.007
31	6.371	0.135	5.516	8.428	151.749	-1056.708	-165.190	1080.253	-0.773	0.994	-1.129	1.692
32	5.698	0.167	5.846	8.166	179.669	-968.642	-159.280	997.957	-0.806	1.524	-1.854	2.531
33	4.851	0.158	6.073	7.774	206.220	-826.264	-137.956	862.711	-0.764	2.134	-2.662	3.496
34	3.889	0.092	6.149	7.276	226.807	-634.753	-98.942	681.280	-0.636	2.807	-3.535	4.558
35	2.904	-0.044	6.056	6.717	236.307	-405.554	-42.096	471.261	-0.418	3.507	-4.440	5.674
36	1.996	-0.255	5.827	6.164	230.074	-154.669	30.330	278.885	-0.120	4.177	-5.332	6.774
37	1.250	-0.542	5.537	5.702	204.932	100.757	114.038	255.252	0.237	4.746	-6.151	7.773
38	0.712	-0.896	5.292	5.414	159.890	346.581	203.434	432.514	0.623	5.136	-6.835	8.573
39	0.377	-1.300	5.196	5.370	96.527	574.941	292.412	652.211	0.999	5.289	-7.325	9.090
40	0.202	-1.728	5.329	5.606	19.106	785.293	374.878	870.393	1.329	5.175	-7.578	9.273
41	0.121	-2.145	5.727	6.116	-65.494	982.841	445.018	1080.883	1.585	4.811	-7.580	9.117
42	0.066	-2.510	6.383	6.859	-148.107	1175.233	497.467	1284.750	1.751	4.252	-7.348	8.668
43	-0.012	-2.779	7.256	7.770	-217.969	1368.936	527.572	1483.181	1.826	3.580	-6.932	8.012
44	-0.141	-2.910	8.280	8.778	-263.804	1566.497	531.747	1675.190	1.827	2.883	-6.412	7.264
45	-0.325	-2.869	9.374	9.808	-275.265	1765.147	507.857	1857.265	1.785	2.234	-5.892	6.549
46	-0.547	-2.632	10.449	10.789	-244.706	1956.727	455.536	2023.901	1.740	1.676	-5.476	5.985
47	-0.776	-2.197	11.412	11.648	-169.182	2128.796	376.400	2168.427	1.726	1.212	-5.241	5.649
48	-0.975	-1.582	12.178	12.319	-52.231	2266.787	274.114	2283.898	1.757	0.807	-5.208	5.555
49	-1.111	-0.829	12.671	12.747	95.354	2356.921	154.282	2363.889	1.819	0.413	-5.317	5.635
50	-1.158	-0.002	12.841	12.893	256.518	2389.258	24.139	2403.110	1.868	0.001	-5.437	5.749

Cargas en brazo para trayectoria circular en un segundo (parte2)												
Step	juis1_i_TX	juis1_i_TY	juis1_i_TZ	juis1_i_TM	juds1_i_FX	juds1_i_FY	juds1_i_FZ	juds1_i_FM	juds1_i_TX	juds1_i_TY	juds1_i_TZ	juds1_i_TM
0	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.794	0.000	-1.410	1.619	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.001	0.000	0.001	0.001	-0.906	-0.010	-1.642	1.875	0.001	0.000	0.001	0.001
2	0.001	0.000	0.001	0.001	-1.011	-0.019	-1.860	2.117	0.001	0.000	0.001	0.001
3	0.001	0.000	0.002	0.002	-1.111	-0.027	-2.065	2.345	0.001	0.000	0.002	0.002
4	0.002	0.000	0.002	0.003	-1.205	-0.032	-2.259	2.561	0.002	0.000	0.002	0.003
5	0.002	0.000	0.003	0.003	-1.293	-0.035	-2.441	2.763	0.002	0.000	0.003	0.003
6	0.003	0.000	0.003	0.004	-1.376	-0.033	-2.612	2.952	0.003	0.000	0.003	0.004
7	0.003	0.000	0.003	0.004	-1.454	-0.026	-2.771	3.129	0.003	0.000	0.003	0.004
8	0.003	0.000	0.004	0.005	-1.526	-0.013	-2.918	3.293	0.003	0.000	0.004	0.005
9	0.003	0.000	0.004	0.005	-1.592	0.006	-3.052	3.443	0.003	0.000	0.004	0.005
10	0.004	0.000	0.004	0.006	-1.652	0.033	-3.173	3.578	0.004	0.000	0.004	0.006
11	0.004	0.000	0.005	0.006	-1.705	0.069	-3.280	3.697	0.004	0.000	0.005	0.006
12	0.004	0.000	0.005	0.006	-1.749	0.113	-3.370	3.798	0.004	0.000	0.005	0.006
13	0.004	0.000	0.005	0.006	-1.784	0.166	-3.441	3.880	0.004	0.000	0.005	0.006
14	0.004	0.000	0.005	0.006	-1.807	0.229	-3.492	3.938	0.004	0.000	0.005	0.006
15	0.003	-0.001	0.004	0.005	-1.817	0.299	-3.518	3.971	0.003	-0.001	0.004	0.005
16	0.003	-0.001	0.004	0.005	-1.811	0.377	-3.518	3.975	0.003	-0.001	0.004	0.005
17	0.002	-0.001	0.003	0.004	-1.788	0.460	-3.486	3.945	0.002	-0.001	0.003	0.004
18	0.002	0.000	0.002	0.003	-1.745	0.546	-3.418	3.877	0.002	0.000	0.002	0.003
19	0.000	0.000	0.001	0.001	-1.682	0.630	-3.310	3.766	0.000	0.000	0.001	0.001
20	-0.001	0.000	-0.001	0.002	-1.596	0.708	-3.157	3.608	-0.001	0.000	-0.001	0.002
21	-0.002	0.001	-0.003	0.004	-1.489	0.773	-2.953	3.397	-0.002	0.001	-0.003	0.004
22	-0.004	0.002	-0.006	0.007	-1.361	0.818	-2.695	3.128	-0.004	0.002	-0.006	0.007
23	-0.005	0.003	-0.009	0.011	-1.216	0.834	-2.378	2.798	-0.005	0.003	-0.009	0.011
24	-0.007	0.005	-0.012	0.015	-1.059	0.812	-2.001	2.405	-0.007	0.005	-0.012	0.015
25	-0.008	0.007	-0.015	0.019	-0.899	0.741	-1.562	1.948	-0.008	0.007	-0.015	0.019
26	-0.009	0.009	-0.018	0.022	-0.743	0.612	-1.064	1.435	-0.009	0.009	-0.018	0.022
27	-0.009	0.012	-0.021	0.026	-0.604	0.416	-0.513	0.895	-0.009	0.012	-0.021	0.026
28	-0.009	0.014	-0.024	0.029	-0.492	0.146	0.082	0.520	-0.009	0.014	-0.024	0.029
29	-0.008	0.016	-0.025	0.031	-0.417	-0.202	0.710	0.848	-0.008	0.016	-0.025	0.031
30	-0.006	0.016	-0.025	0.031	-0.385	-0.629	1.357	1.544	-0.006	0.017	-0.025	0.031
31	-0.004	0.016	-0.024	0.029	-0.398	-1.129	2.007	2.337	-0.004	0.016	-0.024	0.029
32	-0.002	0.015	-0.020	0.025	-0.454	-1.690	2.647	3.173	-0.002	0.015	-0.020	0.025
33	0.000	0.011	-0.015	0.019	-0.545	-2.292	3.263	4.025	0.000	0.011	-0.015	0.019
34	0.000	0.007	-0.008	0.011	-0.662	-2.899	3.843	4.859	0.000	0.007	-0.008	0.011
35	0.000	0.001	-0.001	0.001	-0.793	-3.463	4.367	5.629	0.000	0.001	-0.001	0.001
36	-0.001	-0.006	0.007	0.009	-0.927	-3.922	4.806	6.272	-0.001	-0.006	0.007	0.009
37	-0.004	-0.012	0.014	0.019	-1.051	-4.203	5.118	6.705	-0.004	-0.012	0.014	0.019
38	-0.007	-0.017	0.020	0.028	-1.148	-4.240	5.240	6.838	-0.007	-0.017	0.020	0.028
39	-0.011	-0.020	0.025	0.034	-1.197	-3.988	5.109	6.591	-0.011	-0.020	0.025	0.034
40	-0.014	-0.022	0.028	0.038	-1.171	-3.447	4.666	5.918	-0.014	-0.022	0.028	0.038
41	-0.016	-0.022	0.029	0.040	-1.045	-2.666	3.884	4.825	-0.016	-0.022	0.029	0.040
42	-0.018	-0.020	0.029	0.040	-0.804	-1.743	2.771	3.371	-0.018	-0.020	0.029	0.040
43	-0.018	-0.018	0.027	0.038	-0.446	-0.801	1.389	1.665	-0.018	-0.018	0.027	0.038
44	-0.018	-0.014	0.025	0.034	0.005	0.028	-0.157	0.160	-0.018	-0.014	0.025	0.034
45	-0.017	-0.011	0.022	0.030	0.506	0.635	-1.721	1.903	-0.017	-0.011	0.022	0.030
46	-0.015	-0.007	0.019	0.025	0.994	0.956	-3.140	3.430	-0.015	-0.007	0.019	0.025
47	-0.012	-0.004	0.015	0.020	1.404	0.985	-4.265	4.597	-0.012	-0.004	0.015	0.020
48	-0.009	-0.002	0.011	0.014	1.688	0.775	-5.003	5.337	-0.009	-0.002	0.011	0.014
49	-0.005	-0.001	0.006	0.008	1.830	0.416	-5.347	5.667	-0.005	-0.001	0.006	0.008
50	-0.001	0.000	0.001	0.002	1.850	0.001	-5.383	5.692	-0.001	0.000	0.001	0.002

Cargas en brazo para trayectoria circular en un segundo (parte3)

Step	rc1_i_FX	rc1_i_FY	rc1_i_FZ	rc1_i_FM	rc1_i_TX	rc1_i_TY	rc1_i_TZ	rc1_i_TM	G001_i_FX	G001_i_FY	G001_i_FZ	G001_i_FM	G001_i_TX	G001_i_TY	G001_i_TZ
0	-2.301	0.000	-2.421	3.340	-48.422	-97.369	46.030	118.086	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	-2.301	0.000	-2.421	3.340	-48.422	-97.369	46.030	118.085	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-2.302	0.000	-2.421	3.341	-48.420	-97.363	46.037	118.082	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	-2.303	0.000	-2.421	3.342	-48.415	-97.337	46.066	118.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
4	-2.307	0.000	-2.420	3.344	-48.403	-97.270	46.139	118.039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000
5	-2.314	0.000	-2.419	3.348	-48.377	-97.136	46.286	117.976	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000
6	-2.327	0.000	-2.417	3.355	-48.333	-96.905	46.538	117.866	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034	0.000
7	-2.346	0.000	-2.413	3.366	-48.265	-96.542	46.929	117.696	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.070	0.000
8	-2.375	0.000	-2.408	3.382	-48.167	-96.012	47.496	117.449	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.131	0.000
9	-2.414	0.000	-2.402	3.405	-48.034	-95.278	48.271	117.112	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.228	0.000
10	-2.464	0.000	-2.393	3.435	-47.863	-94.303	49.289	116.676	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.371	0.000
11	-2.529	0.000	-2.383	3.475	-47.652	-93.052	50.580	116.137	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.575	0.000
12	-2.608	0.000	-2.370	3.525	-47.402	-91.495	52.170	115.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.855	0.000
13	-2.704	0.000	-2.356	3.587	-47.123	-89.607	54.084	114.783	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.226	0.000
14	-2.817	0.000	-2.341	3.663	-46.829	-87.371	56.339	114.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.706	0.000
15	-2.947	0.000	-2.327	3.756	-46.545	-84.785	58.950	113.269	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.313	0.000
16	-3.096	0.000	-2.315	3.866	-46.310	-81.860	61.921	112.605	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.065	0.000
17	-3.263	0.000	-2.309	3.997	-46.180	-78.632	65.253	112.132	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.979	0.000
18	-3.447	0.000	-2.311	4.150	-46.229	-75.163	68.932	111.974	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.075	0.000
19	-3.646	0.000	-2.328	4.326	-46.557	-71.548	72.930	112.274	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.366	0.000
20	-3.860	0.000	-2.364	4.527	-47.288	-67.921	77.198	113.176	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.868	0.000
21	-4.082	0.000	-2.429	4.750	-48.572	-64.459	81.651	114.809	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.592	0.000
22	-4.308	0.000	-2.529	4.996	-50.582	-61.387	86.161	117.263	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.542	0.000
23	-4.527	0.000	-2.675	5.258	-53.501	-58.976	90.537	120.572	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	13.721	0.000
24	-4.725	0.000	-2.875	5.531	-57.506	-57.537	94.504	124.694	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	16.118	0.000
25	-4.884	0.000	-3.137	5.805	-62.734	-57.408	97.683	129.512	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	18.716	0.000
26	-4.979	0.000	-3.461	6.064	-69.231	-58.920	99.586	134.840	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	21.479	0.000
27	-4.981	0.000	-3.844	6.292	-76.883	-62.352	99.615	140.435	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	24.355	0.000
28	-4.856	0.000	-4.267	6.464	-85.345	-67.861	97.113	146.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	27.273	0.000
29	-4.573	0.000	-4.698	6.556	-93.960	-75.393	91.453	151.249	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	30.133	0.000
30	-4.109	0.000	-5.087	6.539	-101.734	-84.593	82.189	155.759	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	32.817	0.000
31	-3.463	0.000	-5.369	6.389	-107.385	-94.729	69.260	159.066	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	35.183	0.000
32	-2.659	0.000	-5.476	6.088	-109.527	-104.678	53.181	160.567	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	37.080	0.000
33	-1.758	0.000	-5.349	5.631	-106.986	-113.002	35.153	159.535	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	38.361	0.000
34	-0.849	0.000	-4.959	5.032	-99.185	-118.155	16.985	155.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	38.903	0.000
35	-0.039	0.000	-4.323	4.324	-86.469	-118.778	0.773	146.921	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	38.630	0.000
36	0.580	0.000	-3.509	3.557	-70.180	-114.021	-11.589	134.389	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	37.530	0.000
37	0.945	0.000	-2.620	2.785	-52.398	-103.778	-18.908	117.783	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	35.664	0.000
38	1.049	0.000	-1.770	2.058	-35.403	-88.728	-20.977	97.806	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	33.158	0.000
39	0.926	0.000	-1.054	1.403	-21.078	-70.177	-18.522	75.579	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	30.186	0.000
40	0.643	0.000	-0.525	0.830	-10.502	-49.744	-12.864	52.443	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.937	0.000
41	0.274	0.000	-0.193	0.335	-3.870	-29.023	-5.477	29.788	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	23.588	0.000
42	-0.118	0.000	-0.035	0.123	-0.694	-9.324	2.366	9.645	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	20.281	0.000
43	-0.489	0.000	-0.006	0.489	-0.124	8.445	9.772	12.917	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	17.115	0.000
44	-0.812	0.000	-0.062	0.814	-1.237	23.776	16.235	28.817	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	14.145	0.000
45	-1.077	0.000	-0.161	1.089	-3.227	36.478	21.548	42.490	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11.389	0.000
46	-1.285	0.000	-0.274	1.314	-5.476	46.569	25.697	53.470	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.838	0.000
47	-1.438	0.000	-0.378	1.487	-7.555	54.177	28.763	61.802	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.464	0.000
48	-1.543	0.000	-0.460	1.610	-9.193	59.462	30.852	67.618	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.230	0.000
49	-1.603	0.000	-0.511	1.683	-10.228	62.569	32.063	71.046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.091	0.000
50	-1.623	0.000	-0.529	1.707	-10.582	63.594	32.459	72.179	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Cargas en brazo para trayectoria circular en un segundo												
Step	motor1_i_FX	motor1_i_FY	motor1_i_FZ	motor1_i_FM	motor1_i_TX	motor1_i_TY	motor1_i_TZ	motor1_i_TM	juis1_i_FX	juis1_i_FY	juis1_i_FZ	juis1_i_FM
51	-1.107	0.826	12.670	12.745	410.806	2360.060	-107.975	2397.979	1.845	-0.418	-5.399	5.721
52	-0.967	1.578	12.173	12.313	538.401	2272.773	-233.311	2347.297	1.699	-0.781	-5.048	5.383
53	-0.762	2.192	11.401	11.635	624.109	2137.322	-343.532	2252.925	1.410	-0.992	-4.297	4.630
54	-0.529	2.625	10.428	10.767	660.061	1967.899	-431.554	2120.034	0.993	-0.960	-3.154	3.443
55	-0.306	2.858	9.346	9.778	646.427	1779.783	-492.272	1956.483	0.500	-0.632	-1.714	1.894
56	-0.123	2.896	8.249	8.743	590.234	1586.073	-523.024	1771.315	-0.005	-0.016	-0.130	0.132
57	0.003	2.764	7.226	7.737	503.087	1395.176	-523.746	1572.871	-0.456	0.821	1.427	1.708
58	0.077	2.496	6.359	6.832	398.702	1209.589	-496.882	1367.100	-0.811	1.765	2.811	3.417
59	0.127	2.135	5.711	6.099	290.811	1026.112	-447.125	1156.459	-1.049	2.687	3.917	4.864
60	0.204	1.724	5.322	5.598	191.460	837.494	-381.012	939.800	-1.171	3.462	4.689	5.945
61	0.376	1.301	5.196	5.370	109.700	635.379	-306.335	713.850	-1.195	3.997	5.122	6.606
62	0.709	0.900	5.296	5.419	50.723	414.030	-231.349	476.987	-1.145	4.245	5.248	6.846
63	1.248	0.547	5.543	5.708	15.636	173.644	-163.806	239.226	-1.049	4.208	5.124	6.713
64	1.994	0.259	5.833	6.169	1.947	-78.096	-109.953	134.880	-0.926	3.929	4.816	6.284
65	2.902	0.047	6.061	6.720	4.643	-327.095	-73.662	335.319	-0.792	3.474	4.380	5.646
66	3.887	-0.089	6.152	7.278	17.614	-556.144	-55.972	559.231	-0.661	2.912	3.861	4.881
67	4.850	-0.156	6.075	7.775	35.049	-749.077	-55.206	751.926	-0.544	2.307	3.284	4.050
68	5.697	-0.166	5.847	8.166	52.475	-894.218	-67.660	898.308	-0.452	1.705	2.668	3.199
69	6.370	-0.134	5.517	8.428	67.232	-986.120	-88.636	992.376	-0.396	1.142	2.026	2.359
70	6.843	-0.076	5.146	8.562	78.393	-1025.443	-113.486	1034.678	-0.382	0.638	1.371	1.560
71	7.124	-0.007	4.792	8.586	86.294	-1017.566	-138.371	1030.550	-0.415	0.207	0.718	0.855
72	7.242	0.062	4.497	8.525	91.938	-970.658	-160.621	988.145	-0.492	-0.146	0.083	0.519
73	7.235	0.123	4.285	8.409	96.477	-893.876	-178.733	916.661	-0.605	-0.419	-0.520	0.901
74	7.141	0.172	4.164	8.268	100.872	-796.030	-192.145	825.081	-0.747	-0.618	-1.077	1.449
75	6.993	0.206	4.130	8.124	105.760	-684.827	-200.928	721.488	-0.904	-0.748	-1.580	1.968
76	6.817	0.227	4.171	7.995	111.443	-566.547	-205.517	612.889	-1.067	-0.820	-2.022	2.429
77	6.632	0.234	4.273	7.893	117.963	-446.077	-206.499	505.512	-1.224	-0.842	-2.402	2.825
78	6.450	0.230	4.421	7.823	125.186	-327.054	-204.498	405.531	-1.370	-0.825	-2.719	3.155
79	6.277	0.216	4.600	7.785	132.882	-212.112	-200.110	320.457	-1.498	-0.779	-2.976	3.422
80	6.117	0.195	4.798	7.777	140.775	-103.086	-193.877	260.831	-1.605	-0.713	-3.178	3.631
81	5.971	0.169	5.005	7.793	148.591	-1.229	-186.285	238.292	-1.690	-0.634	-3.329	3.787
82	5.840	0.139	5.211	7.828	156.074	92.660	-177.765	254.058	-1.753	-0.548	-3.434	3.895
83	5.724	0.108	5.410	7.877	162.998	178.105	-168.698	294.532	-1.794	-0.462	-3.499	3.960
84	5.621	0.076	5.597	7.933	169.176	254.886	-159.423	344.969	-1.816	-0.378	-3.529	3.987
85	5.530	0.044	5.769	7.992	174.460	322.977	-150.235	396.637	-1.821	-0.300	-3.527	3.981
86	5.452	0.015	5.923	8.050	178.741	382.511	-141.388	445.257	-1.810	-0.229	-3.498	3.945
87	5.384	-0.012	6.059	8.106	181.942	433.754	-133.096	488.835	-1.786	-0.166	-3.445	3.885
88	5.327	-0.036	6.176	8.156	184.020	477.089	-125.530	526.531	-1.751	-0.113	-3.372	3.802
89	5.279	-0.055	6.273	8.199	184.961	513.001	-118.820	558.120	-1.706	-0.068	-3.281	3.699
90	5.240	-0.070	6.353	8.236	184.766	542.067	-113.052	583.743	-1.653	-0.033	-3.174	3.579
91	5.209	-0.081	6.416	8.265	183.463	564.943	-108.274	603.773	-1.593	-0.006	-3.052	3.443
92	5.186	-0.087	6.465	8.288	181.089	582.344	-104.496	618.738	-1.526	0.014	-2.917	3.292
93	5.168	-0.089	6.500	8.305	177.694	595.034	-101.692	629.271	-1.453	0.026	-2.770	3.128
94	5.156	-0.087	6.525	8.317	173.335	603.805	-99.807	636.072	-1.376	0.033	-2.610	2.951
95	5.149	-0.080	6.540	8.324	168.076	609.452	-98.762	639.872	-1.293	0.035	-2.440	2.761
96	5.144	-0.070	6.550	8.329	161.981	612.750	-98.458	641.400	-1.204	0.033	-2.258	2.559
97	5.142	-0.056	6.554	8.331	155.116	614.418	-98.778	641.348	-1.110	0.027	-2.064	2.344
98	5.141	-0.040	6.556	8.332	147.546	615.093	-99.598	640.335	-1.011	0.020	-1.859	2.116
99	5.141	-0.021	6.557	8.332	139.331	615.284	-100.785	638.862	-0.906	0.010	-1.641	1.874
100	5.141	0.000	6.557	8.332	130.525	615.332	-102.200	637.272	-0.794	0.000	-1.410	1.618

Cargas en brazo para trayectoria circular en un segundo (parte2)												
Step	juis1_i_TX	juis1_i_TY	juis1_i_TZ	juis1_i_TM	juds1_i_FX	juds1_i_FY	juds1_i_FZ	juds1_i_FM	juds1_i_TX	juds1_i_TY	juds1_i_TZ	juds1_i_TM
51	0.003	0.000	-0.003	0.004	1.800	-0.408	-5.264	5.578	0.003	0.000	-0.003	0.004
52	0.007	-0.002	-0.008	0.011	1.737	-0.798	-5.157	5.500	0.007	-0.002	-0.008	0.011
53	0.010	-0.004	-0.012	0.016	1.707	-1.200	-5.197	5.600	0.010	-0.004	-0.012	0.016
54	0.013	-0.007	-0.016	0.022	1.723	-1.665	-5.442	5.946	0.013	-0.007	-0.016	0.022
55	0.015	-0.010	-0.020	0.027	1.772	-2.226	-5.873	6.525	0.015	-0.010	-0.020	0.027
56	0.017	-0.013	-0.023	0.032	1.818	-2.880	-6.408	7.257	0.017	-0.013	-0.023	0.031
57	0.017	-0.016	-0.025	0.035	1.820	-3.584	-6.940	8.020	0.017	-0.016	-0.025	0.035
58	0.017	-0.019	-0.027	0.037	1.747	-4.261	-7.364	8.685	0.017	-0.019	-0.027	0.037
59	0.015	-0.021	-0.027	0.037	1.583	-4.822	-7.598	9.137	0.015	-0.021	-0.027	0.037
60	0.013	-0.021	-0.026	0.035	1.327	-5.186	-7.594	9.291	0.013	-0.021	-0.026	0.035
61	0.010	-0.019	-0.023	0.031	0.997	-5.298	-7.338	9.105	0.010	-0.019	-0.023	0.031
62	0.007	-0.015	-0.018	0.025	0.622	-5.144	-6.847	8.587	0.007	-0.015	-0.018	0.025
63	0.003	-0.010	-0.012	0.016	0.238	-4.754	-6.164	7.788	0.003	-0.010	-0.012	0.016
64	0.001	-0.004	-0.005	0.006	-0.119	-4.188	-5.347	6.793	0.001	-0.004	-0.005	0.006
65	0.000	0.002	0.003	0.004	-0.417	-3.521	-4.458	5.696	0.000	0.002	0.003	0.004
66	0.000	0.008	0.010	0.013	-0.635	-2.823	-3.556	4.584	0.000	0.008	0.010	0.013
67	0.001	0.012	0.017	0.021	-0.764	-2.151	-2.685	3.524	0.001	0.012	0.017	0.021
68	0.002	0.015	0.021	0.026	-0.807	-1.539	-1.876	2.557	0.002	0.015	0.021	0.026
69	0.004	0.017	0.024	0.030	-0.774	-1.007	-1.149	1.714	0.004	0.017	0.024	0.030
70	0.006	0.016	0.025	0.031	-0.683	-0.561	-0.512	1.022	0.006	0.016	0.025	0.031
71	0.008	0.015	0.024	0.030	-0.551	-0.199	0.036	0.587	0.008	0.015	0.024	0.030
72	0.009	0.013	0.022	0.027	-0.393	0.084	0.498	0.640	0.009	0.013	0.022	0.027
73	0.009	0.011	0.020	0.024	-0.225	0.296	0.880	0.956	0.009	0.011	0.020	0.024
74	0.008	0.008	0.016	0.020	-0.059	0.446	1.187	1.270	0.008	0.008	0.016	0.020
75	0.007	0.006	0.013	0.016	0.096	0.542	1.426	1.529	0.007	0.006	0.013	0.016
76	0.006	0.004	0.009	0.012	0.234	0.593	1.602	1.724	0.006	0.004	0.009	0.012
77	0.004	0.003	0.006	0.008	0.349	0.608	1.720	1.857	0.004	0.003	0.006	0.008
78	0.002	0.001	0.004	0.005	0.439	0.596	1.786	1.933	0.002	0.001	0.004	0.005
79	0.001	0.000	0.001	0.002	0.504	0.563	1.806	1.958	0.001	0.000	0.001	0.002
80	0.000	0.000	-0.001	0.001	0.543	0.518	1.787	1.938	0.000	0.000	-0.001	0.001
81	-0.002	-0.001	-0.002	0.003	0.560	0.465	1.734	1.880	-0.002	-0.001	-0.002	0.003
82	-0.003	-0.001	-0.003	0.004	0.557	0.409	1.652	1.791	-0.003	-0.001	-0.003	0.004
83	-0.003	-0.001	-0.004	0.005	0.536	0.354	1.548	1.676	-0.003	-0.001	-0.004	0.005
84	-0.004	-0.001	-0.005	0.006	0.501	0.303	1.426	1.541	-0.004	-0.001	-0.005	0.006
85	-0.004	-0.001	-0.005	0.007	0.454	0.256	1.290	1.391	-0.004	-0.001	-0.005	0.007
86	-0.004	-0.001	-0.005	0.007	0.397	0.214	1.143	1.229	-0.004	-0.001	-0.005	0.007
87	-0.004	0.000	-0.005	0.007	0.334	0.178	0.989	1.060	-0.004	0.000	-0.005	0.007
88	-0.004	0.000	-0.005	0.007	0.266	0.148	0.830	0.884	-0.004	0.000	-0.005	0.007
89	-0.004	0.000	-0.005	0.006	0.194	0.124	0.667	0.706	-0.004	0.000	-0.005	0.006
90	-0.004	0.000	-0.004	0.006	0.119	0.104	0.502	0.526	-0.004	0.000	-0.004	0.006
91	-0.003	0.000	-0.004	0.005	0.041	0.087	0.334	0.348	-0.003	0.000	-0.004	0.005
92	-0.003	0.000	-0.004	0.005	-0.038	0.074	0.164	0.184	-0.003	0.000	-0.004	0.005
93	-0.003	0.000	-0.003	0.004	-0.120	0.063	-0.009	0.136	-0.003	0.000	-0.003	0.004
94	-0.002	0.000	-0.003	0.004	-0.204	0.054	-0.186	0.281	-0.002	0.000	-0.003	0.004
95	-0.002	0.000	-0.003	0.003	-0.291	0.045	-0.368	0.472	-0.002	0.000	-0.003	0.003
96	-0.002	0.000	-0.002	0.003	-0.382	0.037	-0.557	0.676	-0.002	0.000	-0.002	0.003
97	-0.001	0.000	-0.002	0.002	-0.477	0.029	-0.754	0.893	-0.001	0.000	-0.002	0.002
98	-0.001	0.000	-0.001	0.001	-0.577	0.020	-0.961	1.121	-0.001	0.000	-0.001	0.001
99	0.000	0.000	-0.001	0.001	-0.682	0.010	-1.179	1.362	0.000	0.000	-0.001	0.001
100	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.794	0.000	-1.410	1.619	0.000	0.000	0.000	0.000

Cargas en brazo para trayectoria circular en un segundo (parte3)															
Step	rc1_i_FX	rc1_i_FY	rc1_i_FZ	rc1_i_FM	rc1_i_TX	rc1_i_TY	rc1_i_TZ	rc1_i_TM	G001_i_FX	G001_i_FY	G001_i_FZ	G001_i_FM	G001_i_TX	G001_i_TY	G001_i_TZ
51	-1.603	0.000	-0.511	1.683	-10.229	62.569	32.063	71.046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.091	0.000
52	-1.543	0.000	-0.460	1.610	-9.193	59.462	30.852	67.618	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-4.230	0.000
53	-1.438	0.000	-0.378	1.487	-7.555	54.177	28.763	61.802	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-6.464	0.000
54	-1.285	0.000	-0.274	1.314	-5.476	46.569	25.697	53.470	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-8.838	0.000
55	-1.077	0.000	-0.161	1.089	-3.227	36.478	21.548	42.490	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-11.389	0.000
56	-0.812	0.000	-0.062	0.814	-1.237	23.776	16.235	28.817	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-14.145	0.000
57	-0.489	0.000	-0.006	0.489	-0.124	8.445	9.772	12.917	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-17.115	0.000
58	-0.118	0.000	-0.035	0.123	-0.694	-9.324	2.366	9.645	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-20.281	0.000
59	0.274	0.000	-0.193	0.335	-3.870	-29.023	-5.477	29.788	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-23.588	0.000
60	0.643	0.000	-0.525	0.830	-10.502	-49.744	-12.864	52.443	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-26.937	0.000
61	0.926	0.000	-1.054	1.403	-21.078	-70.177	-18.522	75.579	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-30.186	0.000
62	1.049	0.000	-1.770	2.058	-35.403	-88.728	-20.977	97.806	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-33.158	0.000
63	0.945	0.000	-2.620	2.785	-52.398	-103.778	-18.908	117.783	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-35.664	0.000
64	0.580	0.000	-3.509	3.557	-70.180	-114.021	-11.589	134.389	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-37.530	0.000
65	-0.039	0.000	-4.323	4.324	-86.469	-118.778	0.773	146.921	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-38.630	0.000
66	-0.849	0.000	-4.959	5.032	-99.185	-118.155	16.985	155.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-38.903	0.000
67	-1.758	0.000	-5.349	5.631	-106.986	-113.002	35.153	159.535	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-38.361	0.000
68	-2.659	0.000	-5.476	6.088	-109.527	-104.678	53.181	160.567	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-37.080	0.000
69	-3.463	0.000	-5.369	6.389	-107.385	-94.729	69.260	159.066	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-35.183	0.000
70	-4.109	0.000	-5.087	6.539	-101.734	-84.593	82.189	155.759	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-32.817	0.000
71	-4.573	0.000	-4.698	6.556	-93.960	-75.393	91.453	151.249	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-30.133	0.000
72	-4.856	0.000	-4.267	6.464	-85.345	-67.861	97.113	146.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-27.273	0.000
73	-4.981	0.000	-3.844	6.292	-76.883	-62.352	99.615	140.435	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-24.355	0.000
74	-4.979	0.000	-3.461	6.064	-69.231	-58.920	99.586	134.840	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-21.479	0.000
75	-4.884	0.000	-3.137	5.805	-62.734	-57.408	97.683	129.512	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-18.716	0.000
76	-4.725	0.000	-2.875	5.531	-57.506	-57.537	94.504	124.694	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-16.118	0.000
77	-4.527	0.000	-2.675	5.258	-53.501	-58.976	90.537	120.572	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-13.721	0.000
78	-4.308	0.000	-2.529	4.996	-50.582	-61.387	86.161	117.263	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-11.542	0.000
79	-4.082	0.000	-2.429	4.750	-48.572	-64.459	81.651	114.809	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-9.591	0.000
80	-3.860	0.000	-2.364	4.527	-47.288	-67.921	77.198	113.176	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-7.868	0.000
81	-3.646	0.000	-2.328	4.326	-46.557	-71.548	72.930	112.274	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-6.366	0.000
82	-3.447	0.000	-2.311	4.150	-46.229	-75.163	68.932	111.974	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-5.075	0.000
83	-3.263	0.000	-2.309	3.997	-46.180	-78.632	65.253	112.132	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.979	0.000
84	-3.096	0.000	-2.315	3.866	-46.310	-81.860	61.921	112.605	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.064	0.000
85	-2.947	0.000	-2.327	3.756	-46.545	-84.785	58.950	113.269	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.313	0.000
86	-2.817	0.000	-2.341	3.663	-46.829	-87.372	56.339	114.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.706	0.000
87	-2.704	0.000	-2.356	3.587	-47.123	-89.607	54.084	114.783	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.226	0.000
88	-2.608	0.000	-2.370	3.525	-47.402	-91.496	52.170	115.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.855	0.000
89	-2.529	0.000	-2.383	3.475	-47.652	-93.052	50.580	116.137	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.575	0.000
90	-2.464	0.000	-2.393	3.435	-47.863	-94.303	49.289	116.676	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.371	0.000
91	-2.414	0.000	-2.402	3.405	-48.034	-95.278	48.271	117.112	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.228	0.000
92	-2.375	0.000	-2.408	3.382	-48.167	-96.012	47.496	117.449	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.131	0.000
93	-2.346	0.000	-2.413	3.366	-48.265	-96.542	46.929	117.696	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.070	0.000
94	-2.327	0.000	-2.417	3.355	-48.333	-96.905	46.538	117.866	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.034	0.000
95	-2.314	0.000	-2.419	3.348	-48.377	-97.136	46.286	117.976	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.014	0.000
96	-2.307	0.000	-2.420	3.344	-48.403	-97.270	46.139	118.039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.005	0.000
97	-2.303	0.000	-2.421	3.342	-48.415	-97.337	46.066	118.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.000
98	-2.302	0.000	-2.421	3.341	-48.420	-97.363	46.037	118.082	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
99	-2.301	0.000	-2.421	3.340	-48.422	-97.369	46.030	118.085	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100	-2.301	0.000	-2.421	3.340	-48.422	-97.369	46.030	118.086	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Anexo F

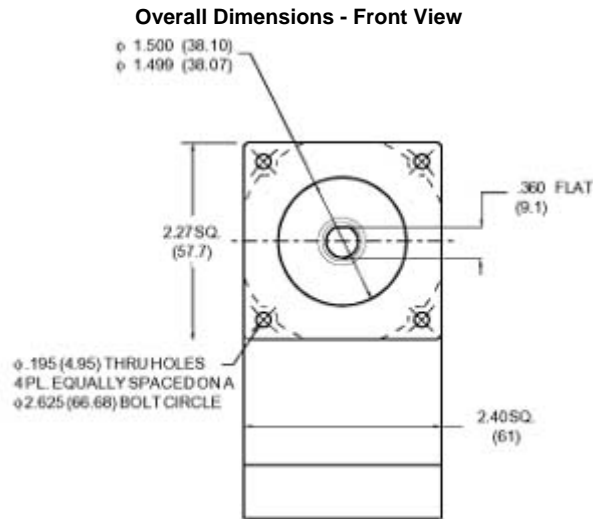
Hojas de datos de elementos motrices

Reductor de engranes

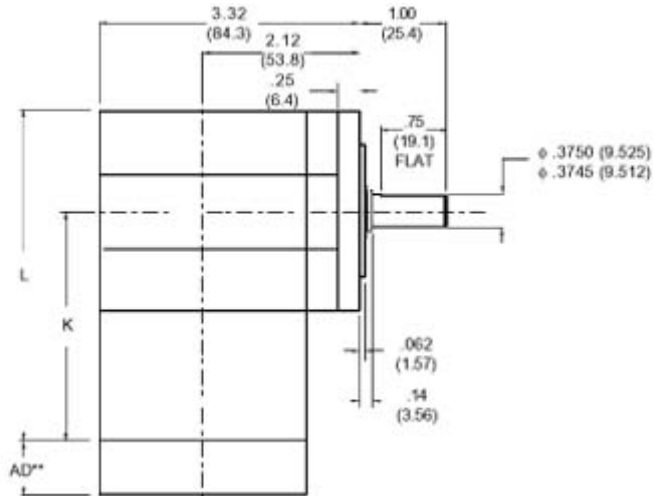


NemaTRUE 90 Size 23 Right Angle Gearheads

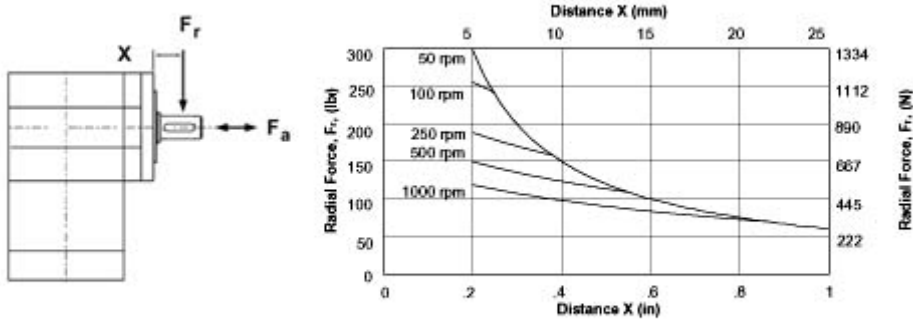
Product Dimensions



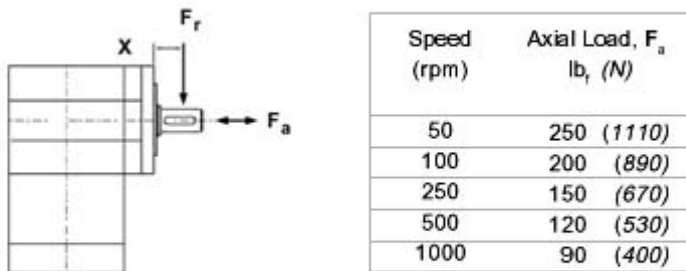
Overall Dimensions - Side View



Radial Load Ratings



Axial Load Ratings



Performance Specifications and Dimensions									
Part Number	Ratio ¹	5,000 HOUR LIFE			10,000 HOUR LIFE			T _{peak} in-lb (Nm)	J in-lb-sec ² x10 ⁻⁴ (kg-cm ²)
		T _r (1000 rpm) in-lb (Nm)	T _r (3000 rpm) in-lb (Nm)	T _r (5000 rpm) in-lb (Nm)	T _r (1000 rpm) in-lb (Nm)	T _r (3000 rpm) in-lb (Nm)	T _r (5000 rpm) in-lb (Nm)		
NTR23-001	1:1	59 (7)	54 (6)	49 (6)	54 (6)	50 (6)	45 (5)	195 (22)	7.01 (0.79)
NTR23-002	2:1	130 (15)	118 (13)	107 (12)	120 (14)	109 (12)	99 (11)	360 (41)	3.59 (0.41)
NTR23-003	3:1	83 (9)	75 (9)	68 (8)	76 (9)	70 (8)	63 (7)	270 (31)	3.09 (0.35)
NTR23-004	4:1	61 (7)	56 (6)	50 (6)	56 (6)	51 (6)	46 (5)	238 (27)	2.87 (0.32)
NTR23-005P	5:1P	50 (6)	46 (5)	41 (5)	46 (5)	42 (5)	38 (4)	180 (20)	2.81 (0.32)
NTR23-005T	5:1T	179 (20)	153 (17)	138 (16)	175 (20)	132 (15)	112 (13)	366 (41)	3.69 (0.42)
NTR23-006	6:1	153 (17)	130 (15)	126 (14)	149 (17)	120 (14)	116 (13)	366 (41)	3.67 (0.41)
NTR23-009	9:1	97 (11)	83 (9)	80 (9)	95 (11)	76 (9)	74 (8)	289 (33)	3.08 (0.35)
NTR23-010	10:1	157 (18)	144 (16)	130 (15)	155 (18)	138 (16)	120 (14)	366 (41)	3.48 (0.39)
NTR23-012	12:1	72 (8)	61 (7)	59 (7)	70 (8)	56 (6)	55 (6)	252 (28)	2.95 (0.33)
NTR23-015	15:1	100 (11)	91 (10)	83 (9)	99 (11)	88 (10)	76 (9)	297 (34)	2.89 (0.33)
NTR23-020	20:1	74 (8)	67 (8)	61 (7)	73 (8)	64 (7)	56 (6)	366 (41)	2.76 (0.31)
NTR23-025	25:1	60 (7)	55 (6)	50 (6)	60 (7)	53 (6)	46 (5)	198 (22)	2.71 (0.31)
NTR23-030	30:1	102 (12)	98 (11)	94 (11)	102 (11)	96 (11)	90 (10)	305 (34)	2.83 (0.32)
NTR23-040	40:1	75 (9)	72 (8)	69 (8)	75 (8)	71 (8)	67 (8)	263 (30)	2.69 (0.30)
NTR23-050	50:1	62 (7)	59 (7)	57 (6)	61 (7)	58 (7)	55 (6)	203 (23)	2.64 (0.30)
NTR23-060	60:1	163 (18)	161 (18)	158 (18)	163 (18)	160 (18)	157 (18)	366 (41)	3.68 (0.42)
NTR23-075	75:1	104 (12)	102 (12)	100 (11)	103 (12)	101 (11)	99 (11)	311 (35)	2.95 (0.33)
NTR23-090	90:1	104 (12)	102 (12)	101 (11)	103 (12)	102 (11)	100 (11)	313 (35)	3.09 (0.35)
NTR23-100	100:1	163 (18)	162 (18)	161 (18)	163 (18)	161 (18)	160 (18)	366 (41)	3.50 (0.40)
NTR23-120	120:1	76 (9)	75 (9)	74 (8)	76 (9)	75 (8)	73 (8)	270 (31)	2.96 (0.33)
NTR23-125	125:1	63 (7)	62 (7)	60 (7)	62 (7)	61 (7)	60 (7)	207 (23)	2.76 (0.31)
NTR23-150	150:1	104 (12)	103 (12)	102 (12)	104 (12)	103 (12)	102 (11)	316 (36)	2.91 (0.33)
NTR23-200	200:1	164 (19)	163 (18)	162 (18)	164 (18)	163 (18)	162 (18)	366 (41)	3.43 (0.39)
NTR23-250	250:1	63 (7)	62 (7)	62 (7)	63 (7)	62 (7)	61 (7)	207 (23)	2.72 (0.31)
NTR23-300	300:1	104 (12)	104 (12)	103 (12)	104 (12)	104 (12)	103 (12)	319 (36)	2.84 (0.32)
NTR23-400	400:1	77 (9)	76 (9)	76 (9)	77 (9)	76 (9)	76 (9)	274 (31)	2.71 (0.31)
NTR23-500	500:1	63 (7)	63 (7)	62 (7)	63 (7)	63 (7)	62 (7)	207 (23)	2.66 (0.30)

Part Number	Torsional Stiffness Nm/arc-min (in-lb/arc-min)	Dimension K in (mm)	Dimension L in (mm)	Backlash (arc-min)	Weight lb (kg)	Efficiency
NTR23-001	5.6 (0.6)	3.11 (79)	4.31 (109.5)	13 max	3.0 (1.4)	95%
NTR23-002	8.5 (1.0)	3.11 (79)	4.31 (109.5)	13 max	3.0 (1.4)	95%
NTR23-003	9.6 (1.1)	3.11 (79)	4.31 (109.5)	13 max	3.0 (1.4)	95%
NTR23-004	10.1 (1.1)	3.11 (79)	4.31 (109.5)	13 max	3.0 (1.4)	95%
NTR23-005P	10.3 (1.2)	3.11 (79)	4.31 (109.5)	13 max	3.0 (1.4)	95%
NTR23-005T	10.3 (1.2)	3.79 (96)	4.99 (127.0)	15 max	3.4 (1.5)	90%
NTR23-006	6.7 (0.8)	3.79 (96)	4.99 (127.0)	15 max	3.4 (1.5)	90%
NTR23-009	8.5 (1.0)	3.79 (96)	4.99 (127.0)	15 max	3.4 (1.5)	90%
NTR23-010	6.6 (0.7)	3.79 (96)	4.99 (127.0)	15 max	3.4 (1.5)	90%

NTR23-012	9.3 (1.1)	3.79 (96)	4.99 (127.0)	15 max	3.4 (1.5)	90%
NTR23-015	9.8 (1.1)	3.79 (96)	4.99 (127.0)	15 max	3.4 (1.5)	90%
NTR23-020	9.3 (1.0)	3.79 (96)	4.99 (127.0)	15 max	3.4 (1.5)	90%
NTR23-025	9.8 (1.1)	3.79 (96)	4.99 (127.0)	15 max	3.4 (1.5)	90%
NTR23-030	8.0 (0.9)	3.79 (96)	4.99 (127.0)	15 max	3.4 (1.5)	90%
NTR23-040	9.0 (1.0)	3.79 (96)	4.99 (127.0)	15 max	3.4 (1.5)	90%
NTR23-050	9.6 (1.1)	3.79 (96)	4.99 (127.0)	15 max	3.4 (1.5)	90%
NTR23-060	6.5 (0.7)	4.48 (114)	5.68 (144.0)	15 max	3.8 (1.6)	85%
NTR23-075	8.4 (0.9)	4.48 (114)	5.68 (144.0)	15 max	3.8 (1.6)	85%
NTR23-090	8.3 (0.9)	4.48 (114)	5.68 (144.0)	15 max	3.8 (1.6)	85%
NTR23-100	6.5 (0.7)	4.48 (114)	5.68 (144.0)	15 max	3.8 (1.6)	85%
NTR23-120	9.2 (1.0)	4.48 (114)	5.68 (144.0)	15 max	3.8 (1.6)	85%
NTR23-125	9.7 (1.1)	4.48 (114)	5.68 (144.0)	15 max	3.8 (1.6)	85%
NTR23-150	8.4 (0.9)	4.48 (114)	5.68 (144.0)	15 max	3.8 (1.6)	85%
NTR23-200	6.1 (0.7)	4.48 (114)	5.68 (144.0)	15 max	3.8 (1.6)	85%
NTR23-250	9.7 (1.1)	4.48 (114)	5.68 (144.0)	15 max	3.8 (1.6)	85%
NTR23-300	8.0 (0.9)	4.48 (114)	5.68 (144.0)	15 max	3.8 (1.6)	85%
NTR23-400	9.0 (1.0)	4.48 (114)	5.68 (144.0)	15 max	3.8 (1.6)	85%
NTR23-500	9.6 (1.1)	4.48 (114)	5.68 (144.0)	15 max	3.8 (1.6)	85%

¹Ratios are exact, higher ratios are also available, consult factory.

T_r = Rated output torque at rated speed for specified hours of life.

J = Mass moment of inertia reflected to the input shaft (including pinion assembly).

**AD = Adapter length. Adapter length will vary depending on motor.

Image Dimensions are in inches (millimeters).

USA, Canada, or Mexico:

If you have any questions, contact us at:

Phone: 1-540-633-3400

Or Write:

Fax: 1-540-639-4162

Email: DMAC@danahermotion.com

Literature: litrequest@danahermotion.com

Danaher Motion
203A West Rock Road
Radford, VA 24141 USA

*Trademark of Danaher Motion. DANAHER MOTION is registered in the U.S Patent and Trademark Office and in other countries.

Printed in the U.S.A. The specification in this publication are believed to be accurate and reliable. However, it is the responsibility of the product user to determine the suitability of Thomson products for a specific application. While defective products will be replaced without charge if promptly returned, no liability is assumed beyond such replacement.

Motor a pasos

Brushless Step Motors Product Detail

powered by ADVIZIA

T23xxxF-L (P)

[View Product Advisor](#)

[Compare Matches](#)

Pacific Scientific - High torque, NEMA 23 precision hybrid step motors

◀ 9 of 12 matches ▶

[Features](#) [Specs](#) [Links](#)

PERFORMANCE DATA

Maximum Speed RPM:	3000
Nominal Holding Torque N-m (oz-in.):	2.97 (420.6)
Detent Torque N-m (oz-in.):	0.049 (6.9)
Stall Current A:	2
@ Ambient Temp. °C:	40

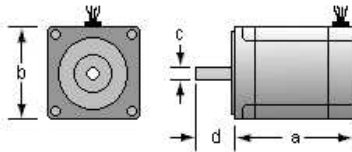
WINDING DATA

DC Resistance @ 40° C Ω:	2.56
Inductance mH:	16.3
Winding Type:	Parallel
Step Angle °:	1.8
Number of Phases:	2

MECHANICAL DATA

Rotor Inertia kg-m ² (oz-in.-s ²):	0.0000593 (0.0084)
Thermal Resistance °C/watt:	3.04
Motor Weight kg (lb):	1.45 (3.2)

DIMENSIONS



Motor Diameter (b) mm (in.):	56.9 (2.24)
Motor Length (a) mm (in.):	103.1 (4.06)
Shaft Diameter (c) mm (in.):	7.938 (0.3125)
Shaft Length (d) mm (in.):	20.57 (0.81)

STANDARD OPTIONS

Connectors Available:	Yes
Encoder Available:	Yes
Agency Ratings:	CE, cUR



Servomotor

Conventional Brushless Servomotors Product Detail

powered by ADVIZIA

MT1506B1 (115 V)

[< Back to List](#)

Kollmorgen - High performance, low ripple brushless servomotor

[Features](#) [Specs](#) [Performance Curves](#) [Links](#)

PERFORMANCE DATA

Rated Power watts:	650
Maximum Speed RPM:	6000
@ Operating Voltage VAC:	115
Continuous Stall Torque N-m (lb-in.):	1.38 (12.2)
Continuous Stall Current A RMS/Φ:	5.86
@ Ambient Temp. °C:	40
Peak Stall Torque N-m (lb-in.):	4.67 (41.3)
Peak Stall Current A RMS/Φ:	22.7

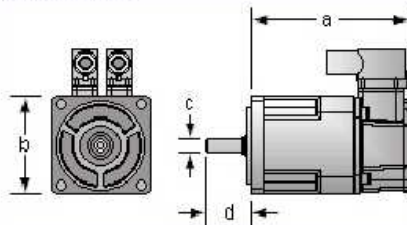
WINDING DATA

Maximum Rated Voltage VAC:	240
Torque Constant N-m/A (lb-in./A):	0.24 (2.1)
Back EMF Constant V RMS/kRPM:	14.5
DC Resistance @ 25° C Ω (line to line):	1.34
Inductance mH (line to line):	3.7

MECHANICAL DATA

Rotor Inertia kg-m ² (lb-in.-s ²):	0.0000294 (0.00026)
Number of Poles:	8
Thermal Time Constant min:	24
Static Friction (less shaft seal) N-m (lb-in.):	0.024 (0.21)
Viscous Damping N-m/kRPM (lb-in./kRPM):	0.0069 (0.061)
Motor Weight kg (lb):	1.9 (4.2)
Standard IP Rating:	IP65

DIMENSIONS



Motor Diameter mm (in.):	60 (2.36)
Motor Length mm (in.):	160 (6.3)
Shaft Diameter mm (in.):	14 (0.55)
Shaft Length mm (in.):	30 (1.18)

Motor ángulo limitado



Product Info:

H2W Technologies **Limited Angle Torque Motors** are ideal for compact, limited angular excursion (<180°), rotary, closed loop servo applications. Unlike conventional rotary brush and brushless motors, the torquers are wound in such a way that no commutation is required for motion to occur. The result is a much simpler and more reliable system.

Torquers operate on the principal of the **Lorentz Force (Torque) Equation**

$$\text{Force or Torque} = B \times I$$

where: B = Flux density (Tesla)

I = Current (Amps)

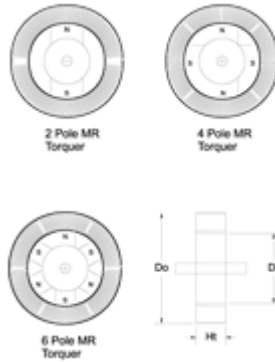
Simply stated, a current carrying conductor placed in a magnetic field will have a force (or torque) exerted upon it. This force is proportional to the direction and magnitude of the current and the flux density field. Since the permanent magnet flux density field is fixed, the direction of the rotation depends on the polarity of input current and the amount of torque that is produced is directly proportional to the magnitude of the input current.

A DC linear servo amplifier is required to provide power to the torquer.

The torquers are typically supplied unhoused without bearings or a shaft, but can be supplied housed if required.

Coupling the torquer to your bearing system and a rotary encoder or other feedback device yields a system that is capable of intricate angular position, velocity, and acceleration control.

Low moving inertia of the rotor assembly allows for high angular acceleration of the payload.



The small length to diameter ratio allows the torquers to fit in spaces where conventional rotary brush and brushless DC motors will not.

It should be noted that, angular excursions of greater than 180° (up to 360°) can be achieved by modifying the winding of the stator assembly. In this case the coil assembly will have 4 leads and it will have to be commutated.

H2W Technologies offers 2 distinct types of limited angle torque motors.

1. MR Series Limited Angle Torque Motor - is a toroidally wound iron core stator with a 2 ,4 or 6 pole permanent magnet rotor. This torque motor can provide angular excursions up to 180°. It is typically supplied without bearings, shaft or housing to allow for direct mounting to customer supplied bearing system.

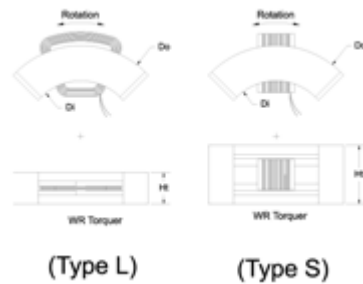
Click on the drawing for a larger view or click [here for a Hi-Res PDF](#) for printing.

The **MR Series** is comprised of a toroidally wound, stationary, coil assembly with a multi-pole permanent magnet rotor.

Rotor: The rare earth permanent magnet rotor always has an even number of poles, with any where from 2 to 6 poles. The maximum angular excursion with a 2-pole rotor is 180°, with a 4 pole rotor is 90°, and with a 6 pole rotor is 60°. The torque will drop off to zero at the extreme ends of the travel. For constant torque over the required rotation, the angular excursion will always be less than numbers mentioned above.

The rotor is comprised of steel core with a thru hole for attaching the rotor to the shaft. Radially magnetized, multipole, rare earth, permanent magnets are bonded to the steel core. Depending on the application either Neodymium or Samarium Cobalt magnets are used.

Stator: The stator is comprised of a “soft”magnetic steel toroid that is electrically insulated. Multiple sections of insulated copper magnet wire are toroidally wound on the stator toroid. Only 2 leads are brought out from the stator assembly.



The rotor assembly is installed within the ID of the stator assembly. There is a magnetic attractive force between the stator and the rotor. When the stator is perfectly concentric within the rotor, the radial magnetic attractive forces are equal and opposite and they cancel each other out.

2. WR Series Limited Angle Torque Motor – is an arc segmented multipole permanent magnet stator with a low inertia copper magnet wire rotor. Angular excursions are typically less than 90°. This torquer is supplied with out a shaft or bearing.

Click on the drawing for a larger view or click [here for a Hi-Res PDF](#) for printing.

The **WR Series** is comprised of a stationary, arc segmented, multipole permanent magnet stator assembly with a low inertia wound wire rotor.

Rotor: The rotor is made up of a single coil of bondable copper magnet wire. The coil is wound and preformed into the desired shape. It is held together with the bonding agents in the wire. It can be encapsulated with aluminum or plastic brackets in order to provide a means for mounting the rotor to the bearing system and payload. The maximum angular excursion is less than 90°.

Stator: The stationary stator assembly consists of multipole permanent magnets that are bonded to steel plates. The 2 opposing steel plates are spaced apart to provide a gap using end plates. The coil rotor assembly moves angularly within this gap. There is no magnetic attractive force between the stator and the rotor.

The **WR Series Torquers** are available in 2 configurations.

The low profile (**Type L**) configuration has a smaller overall height which allows it to fit in a more compact space, but has less angular rotation for a given stator arc segment.

The second configuration (**Type S**) has a larger overall height but has typically twice the angular rotation per given stator arc segment when compared to the Type L torquer.

Limited Angle Torque Motor Advantages:

- No Torque Ripple
- High Angular Acceleration
- No Commutation
- Brushless
- Low Profile

Operating Info:

Required

The motor requires a 1 phase brushless linear amplifier with power supply, that is rated with sufficient current and voltage to meet the motion requirements. A linear amplifier is required because of the very low inductance of the torquer coil assembly. A programmable motion controller is required to close the position loop on the system.

Environmental

The torquer is a precision device with sensitive components, it should not be mounted in an environment that is wet or excessively dirty. The magnetic assembly is highly magnetic, it should not be placed in an area where loose steel particles can be drawn into the magnetic gap. The torquer should not be mounted in an environment with high ambient temperatures (>50°C).

Mounting:

The torquer is typically supplied with out bearings and a shaft. This allows for the stationary and moving parts of the torquer to be mounted directly to the customers rotary payload assembly. The 2 components of the torquer should be mounted such that they are concentric to one another within .001". The rotor and the stator will have a mounting provisions to allow for attachment to the customers system.

Maintenance:

The torquer requires no maintenance.

Electronics:

Considerations:

Ordering Info:

Torquers can be ordered for any angular excursion up to 360° and continuous torques up to 1000 ounce-inches. The torquers are built as the orders are placed, they are not stocked, as each customer requirement is different.

Click [here for a Hi-Res PDF](#) of this entire page for printing.

Model # TMR - AAA - BB - CCC - D or TWR- AAA - BB -

CCC - D

where: AAA is the angular rotation (120 ° is -120)
BB is the OD of the torquer (3.5 inch width is -35)
CCC is the continuous torque (250 oz-in is -250)
D is for special options

TMR is the MR series torquer and TWR is a WR series torquer.
(i.e. TMR-120-35-250-0 is a 3.5" OD limited angle torque motor
with a 120° angular excursion, 250 oz-in of continuous torque and
no special options)

Controlador de micropasos

Impulse Microstepping Drives



IDC introduces the Impulse microstepping drive as the newest addition to their family of high performance microstepping drives and controls. The Impulse microstepping drive uses the power of a Digital Signal Processor (DSP) to obtain the ultimate performance out of a stepping motor. Five new advanced motor control functions now are made possible with each providing unparalleled performance. Having 4 amps of available current, up to 34 frame size stepping motors can be powered. With our complete line of motors, electric cylinders, rodless actuators, and precision positioning tables, IDC has the IDEAL™ system for your application.

Features

- Open Loop Stall Detect™ (OLSD™)
 - Detect a motor stall without an encoder or resolver
- Multi-Stepping™
 - Low resolution step input = 25,600 microsteps out
- Dynamic Smoothing™
 - Rounds the edges of the move profile (pseudo-S curve)
- Xtreme Smoothness™
 - Eliminates the motor's natural resonance speeds
- Motion Node option
 - Move capabilities

Other Features

- Anti-Resonance
 - Best performing and largest range in the industry (7.2°)
- Programmable jog function with dual speed settings
- Current reduction modes with programmable time and reduction amount
- 4 programmable inputs
 - Jog+, Jog-, Jog Speed, EOT, Move Select, Warm Boot, Stop, Kill
- Programmable output
 - Brake, In Motion, Stalled (in addition to fault output)
- All I/O user configurable to active high or active low operation
- Input resolution, programmable from 200-100,000 step/rev in increments of 200
- DIN rail mountable
- Internal fan powered cooling tunnel
- Ultra compact size and ability to mount tightly together
- 160 VDC bus voltage for more torque at higher speeds
- Built in regenerative circuit
- Diagnostic LED
- Configurable with Application Developer software or FP100 keypad

Servopack

SERVOSTAR® CD Series 2 Amplifier



Kollmorgen SERVOSTAR® CD Series Digital Brushless Servo Drives combine advanced digital control features and integrated power supply into a compact package. A rich feature set, advanced control algorithms, and intuitive graphical user interface are designed to simplify installation and commissioning. Patented technology features provide exceptional sine wave commutation control for smooth low speed and efficient high-speed performance. Higher-level control features simplify machine design.

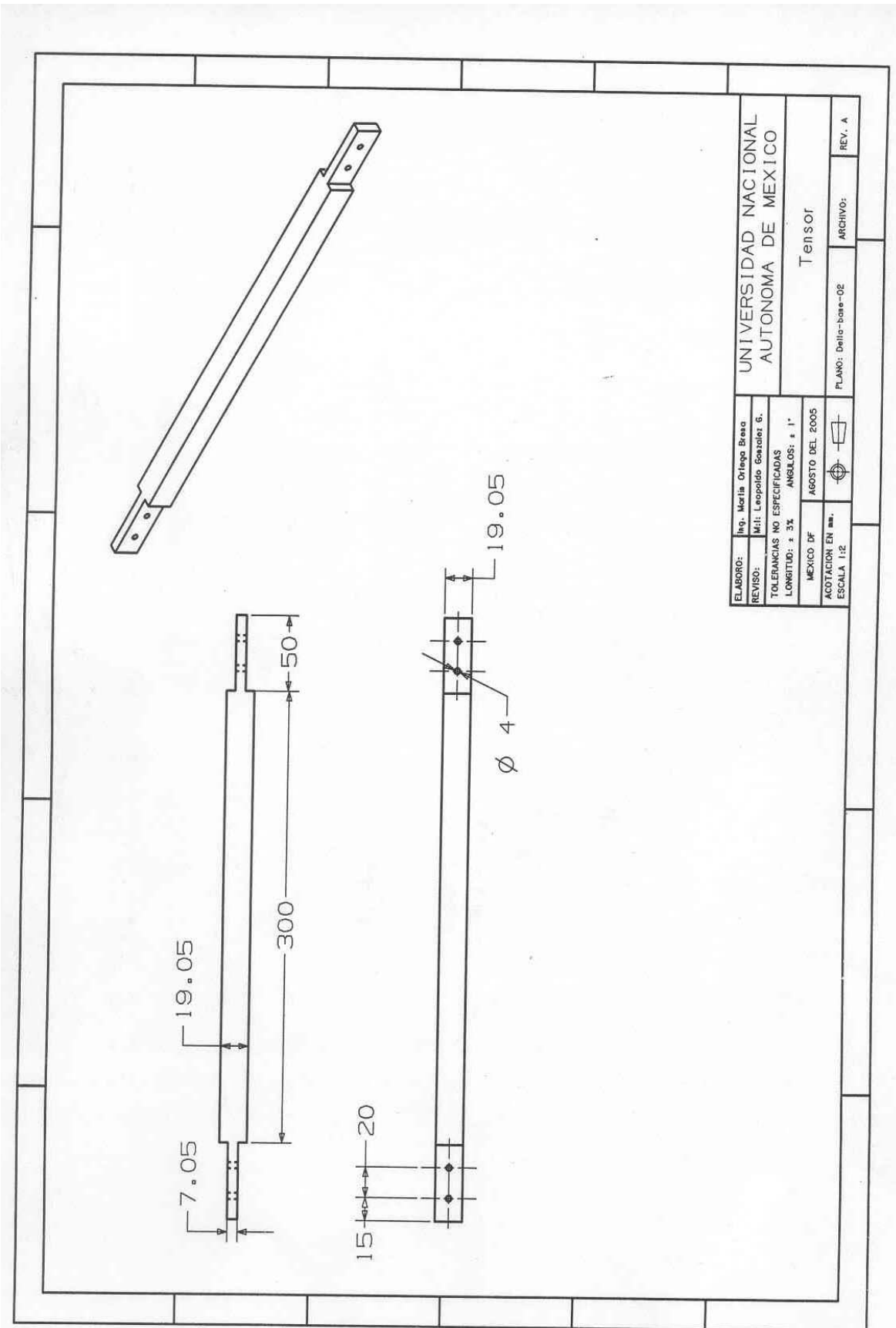
SERVOSTAR® CD Drives are available in multiple continuous output current levels and are compatible with a wide range of servomotors including Kollmorgen GOLDLINE® (rotary), Kollmorgen PLATINUM® (linear), Kollmorgen DDR, and Kollmorgen frameless models.

Features

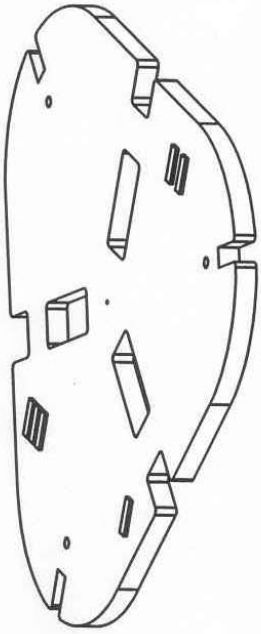
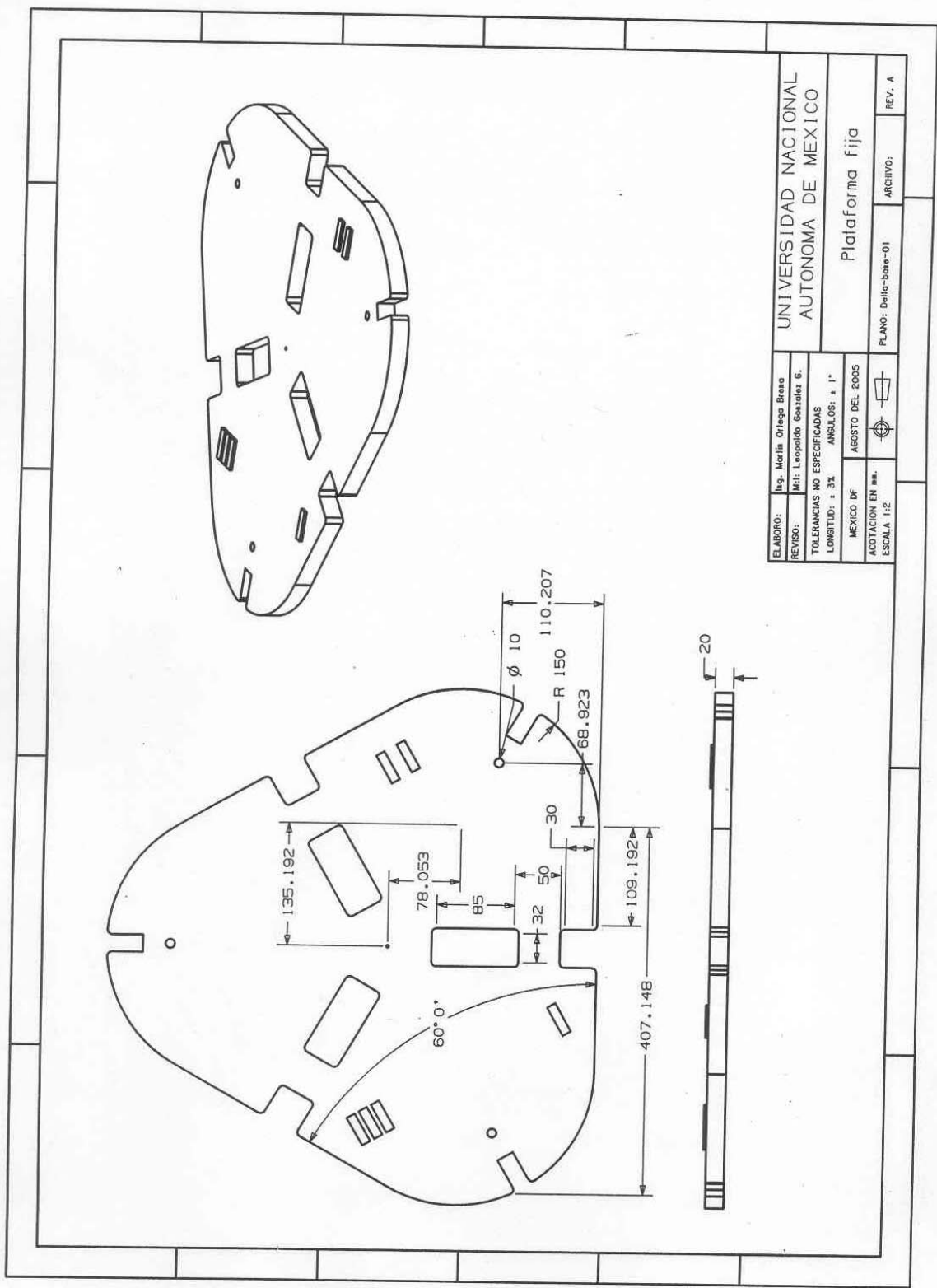
- 115 to 230 volt single phase or three phase AC input power for a wider range of applications
- Three current ratings: 3/9, 6/18 & 10/20 amp RMS per phase continuous/peak current with 3 to 1 peak/continuous current rating (2 to 1 on 10 amp product)
- Output continuous power ratings of 1.1, 2.2, and 3.5 kW
- Fully digital control loops for precise velocity and torque control
- Utilizes Pole Placement, PI, and PDFF control algorithms since not one control algorithm is best for all machines.
- Advanced sinewave commutation technology and patented torque angle control provide smooth, precise low-speed control as well as high-speed performance.
- Velocity loop bandwidths to 400 Hz for responsive performance
- S-curve acceleration feature for reducing acceleration "jerk" and machine wear
- Windows® MOTIONLINK® start-up environment automatically walks you through the key steps of installation and start up.
- Command options include analog ± 10 V, pulse/direction, master encoder, and serial port for easy connectivity
- Built in encoder equivalent output can eliminate the need for an additional position feedback device.
- Enhanced protective features such as current foldback and self-protecting intelligent power modules provide full protection against short circuit, overvoltage, undervoltage, heatsink overtemperature, motor overtemperature, overspeed, overcurrent, feedback loss, supply loss, excessive position error, and miswired connection on 24 volt I/O
- Meets UL, cUL, and CE requirements
- Diagnostics include seven segment LED display, error history log, and internal variable monitoring to detect and identify system inconsistencies for quick analysis
- Integrated power supply
- Flash memory
- ESD rugged circuit design for greater protection of circuit components
- Modern, compact metallic enclosure minimizes electrical noise emission/susceptibility and saves valuable space.

Anexo G

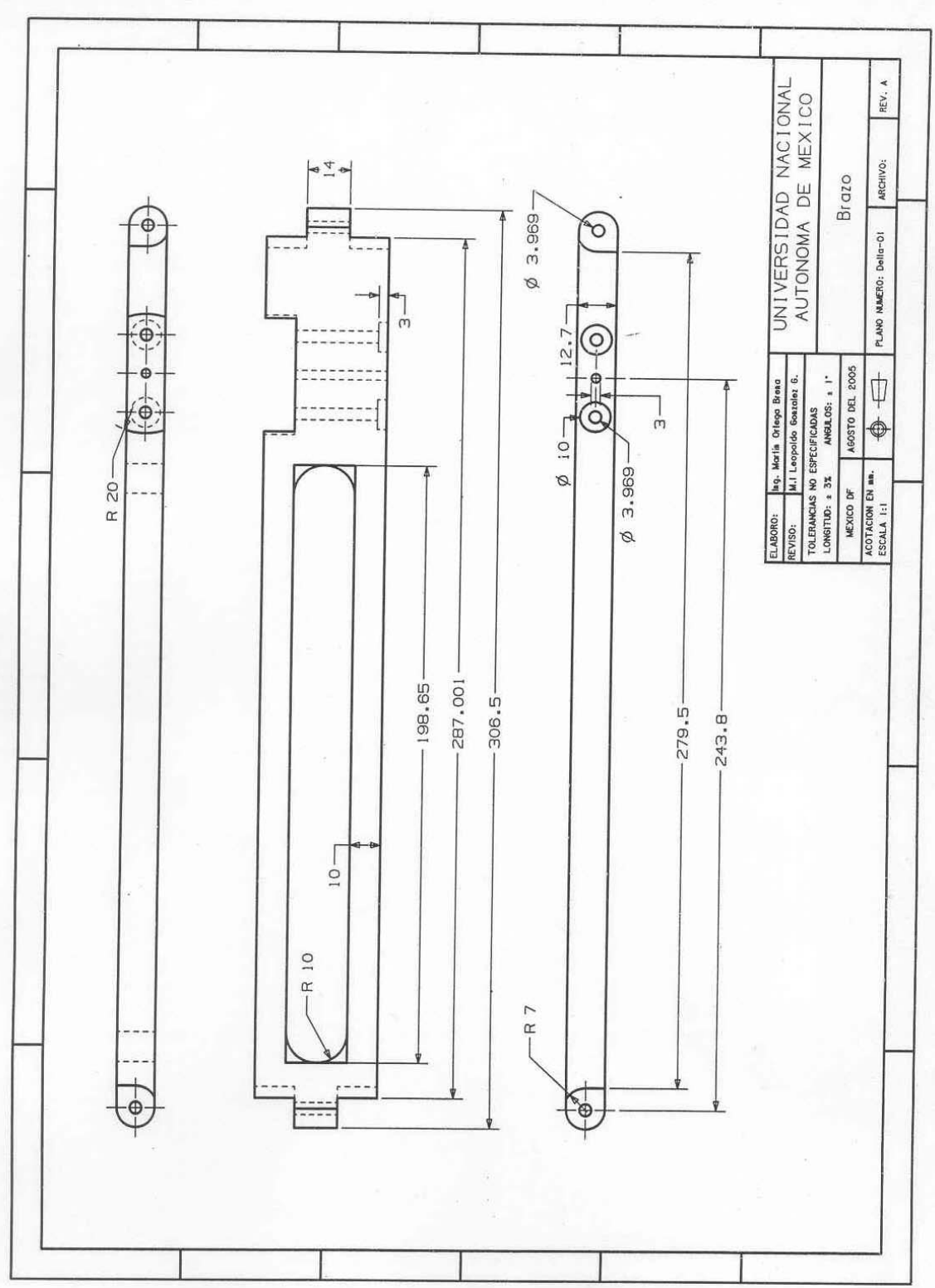
Planos de fabricación



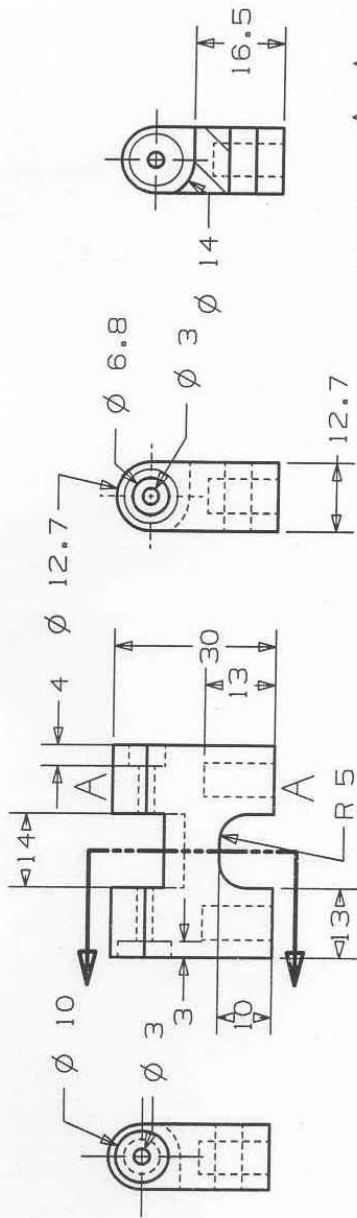
ELABORADO:	Ing. María Ortegá Brea	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
REVISADO:	M.J. Leopoldo González S.	Tensor	
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		PLANO: Delta-base-02	ARCHIVO:
LONGITUD: ± 3%	ANGULOS: ± 1'	REV. A	
MEXICO DF	AGOSTO DEL 2005		
ACOTACION EN mm.			
ESCALA 1:2			



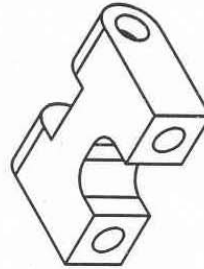
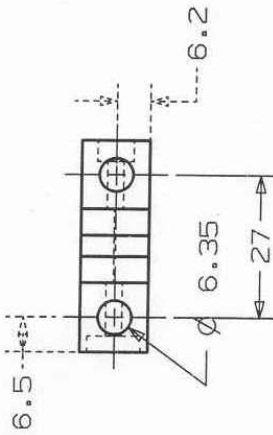
ELABORÓ:	Ing. María Orrego Brea	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
REVISÓ:	Mt. Leopoldo González G.	Plataforma fija
TOLENCIAS NO ESPECIFICADAS	ANGULOS: ± 1°	PLANO: Dela-bae-01
LONGITUD: ± 3%	ARGOSTO DEL 2005	ARCHIVO:
MEXICO DF		REV. A
ACOTACION EN MM.		
ESCALA 1:2		



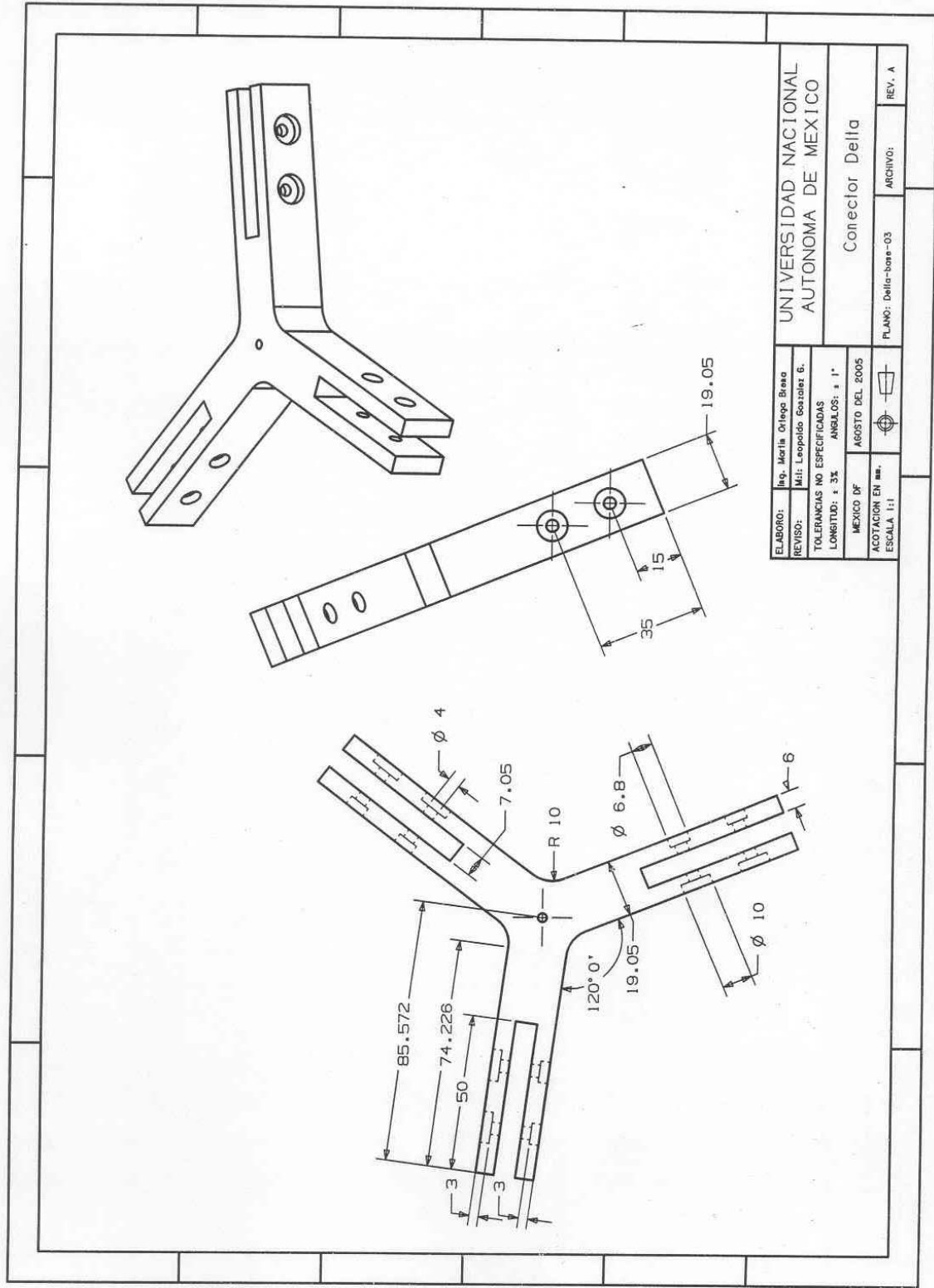
ELABORO:	Ing. María Orrego Brano	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
REVISO:	M.I Leopoldo Gonzalez G.	Brazo
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		
LONGITUD: $\pm 3\%$	ANGULOS: $\pm 1'$	
MEXICO DE	AGOSTO DEL 2005	
ACOTACION EN mm.		
ESCALA 1:1		
	PLANO NUMERO: Delt-01	ARCHIVO:
		REV. A

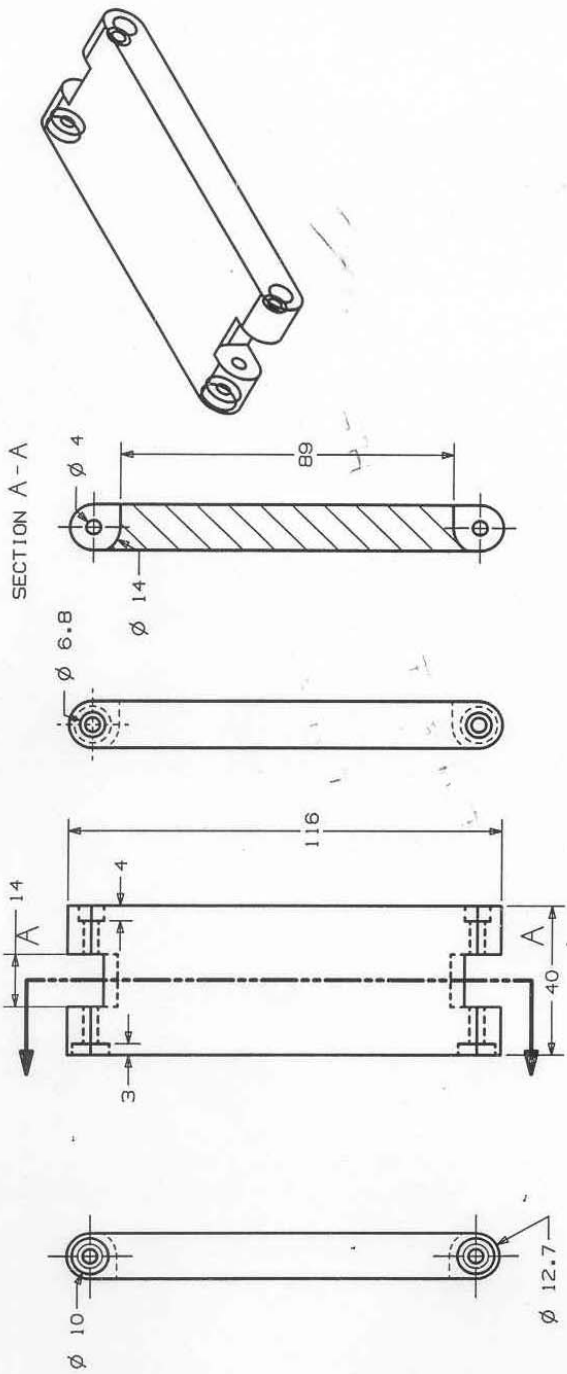


SECTION A - A

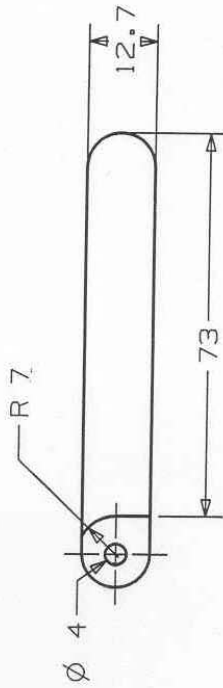
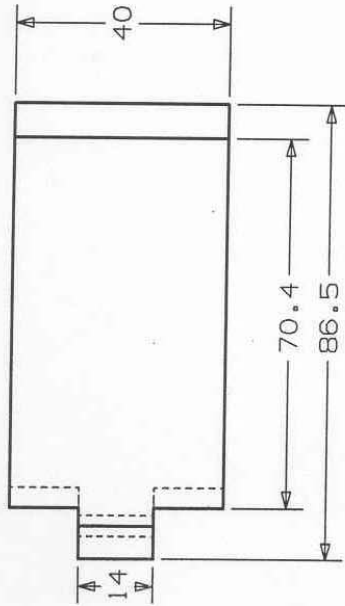
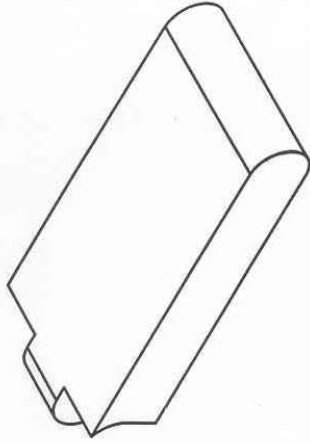


ELABORADO:	Ing. María Ortegón Brea	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
REVISADO:	Mt: Leopoldo González S.	
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		
LONGITUD: ± 3%	ÁNGULOS: ± 1°	
MÉXICO DF	AGOSTO DEL 2005	
ACOTACION EN mm.		
ESCALA 1:1		
		Junta H
		PLANO NUMERO: Dala-01
		ARCHIVO:
		REV. A

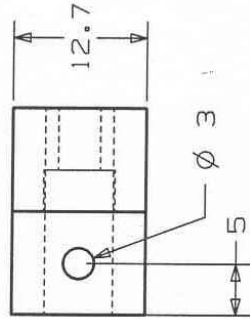
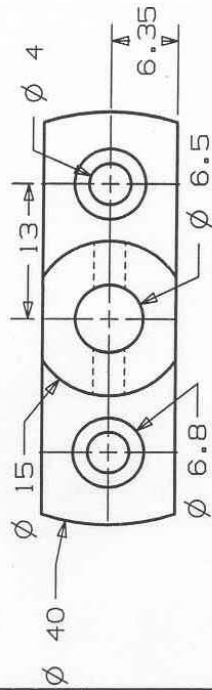
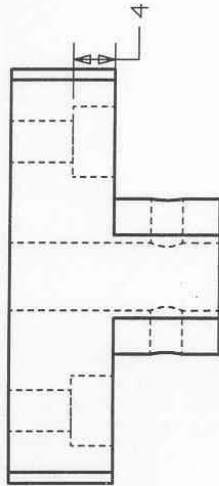
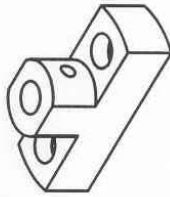




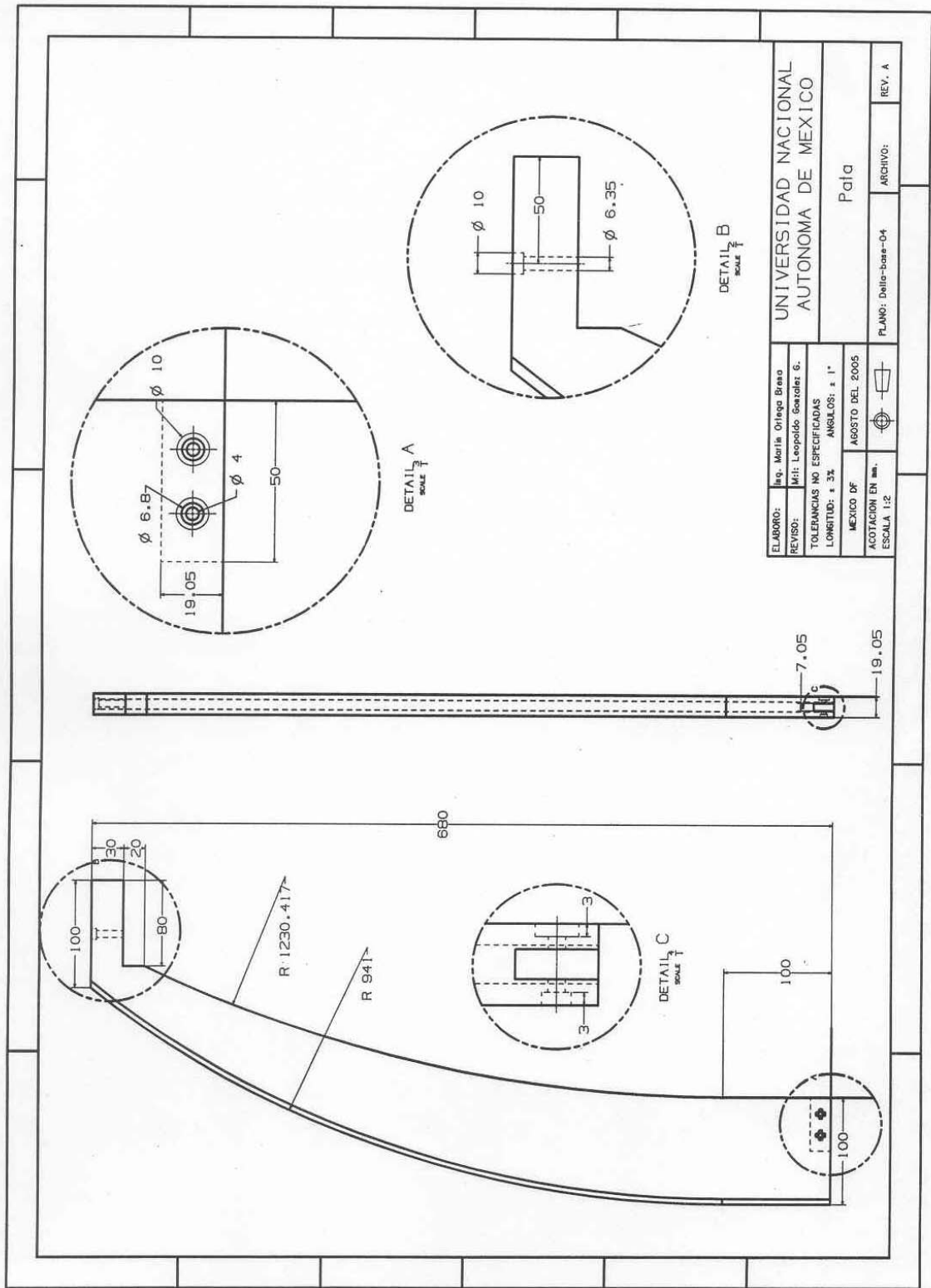
ELABORADO:	Ing. María Ortegá Brea	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	CONTRAPESO I
REVISADO:	Mr. Leopoldo González G.		
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS	ANGULOS: ± 1°		
LONGITUD: ± 3%	AGOSTO DEL 2005		
MEXICO DF			
ACOTACION EN mm.			
ESCALA 1:1			
		PLANO: Dolo-cafra-01	ARCHIVO:
			REV. A



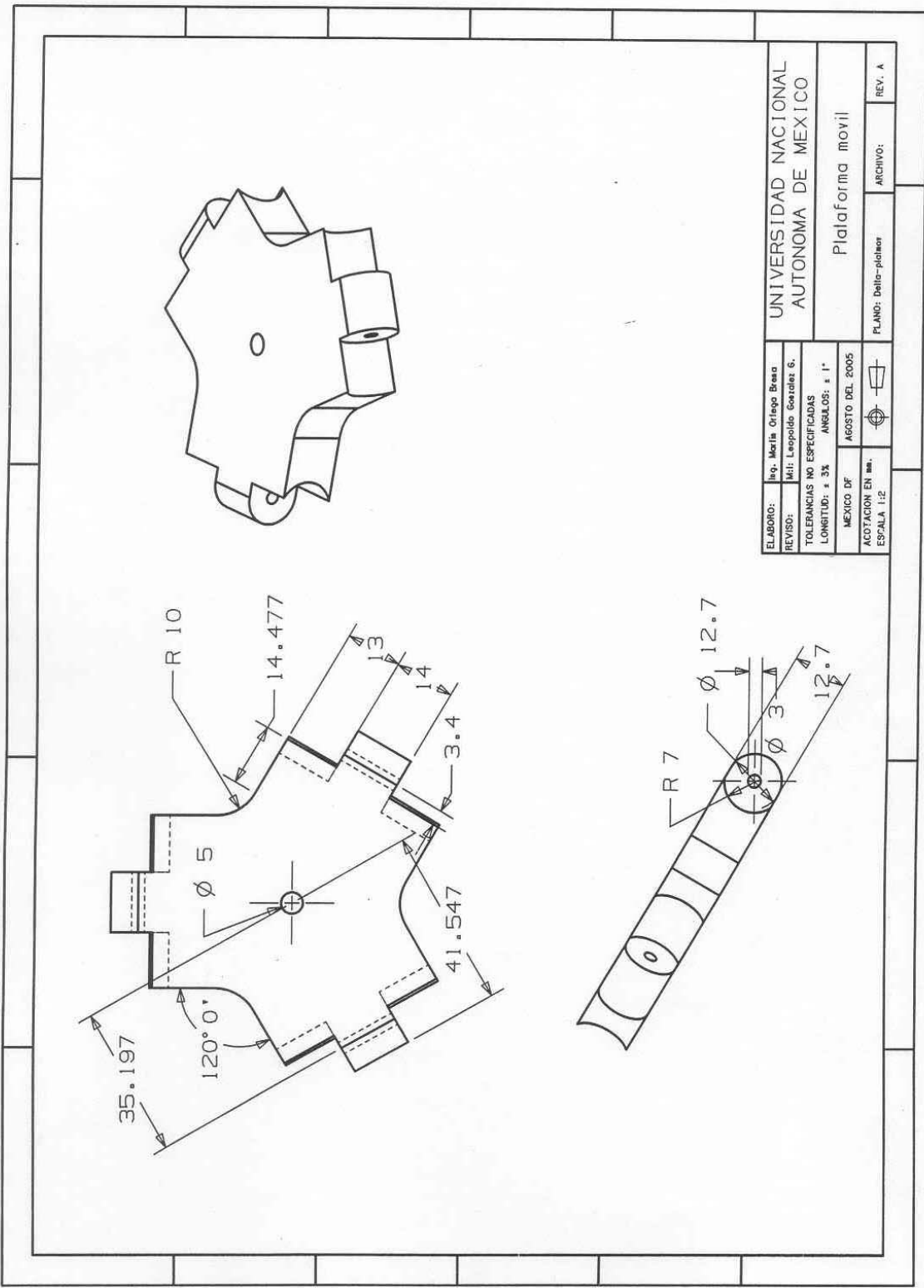
ELABORADO:	Ing. María Ortegá Brea	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
REVISÓ:	Mr. Leopoldo González G.	Contrapeso 2
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS LONGITUD: ± 3% ANGULOS: ± 1°		
MEXICO DF AGOSTO DEL 2006		PLANO: Delle-contr-02
ACOTACION EN mm. ESCALA 1:1		ARCHIVO: REV. A

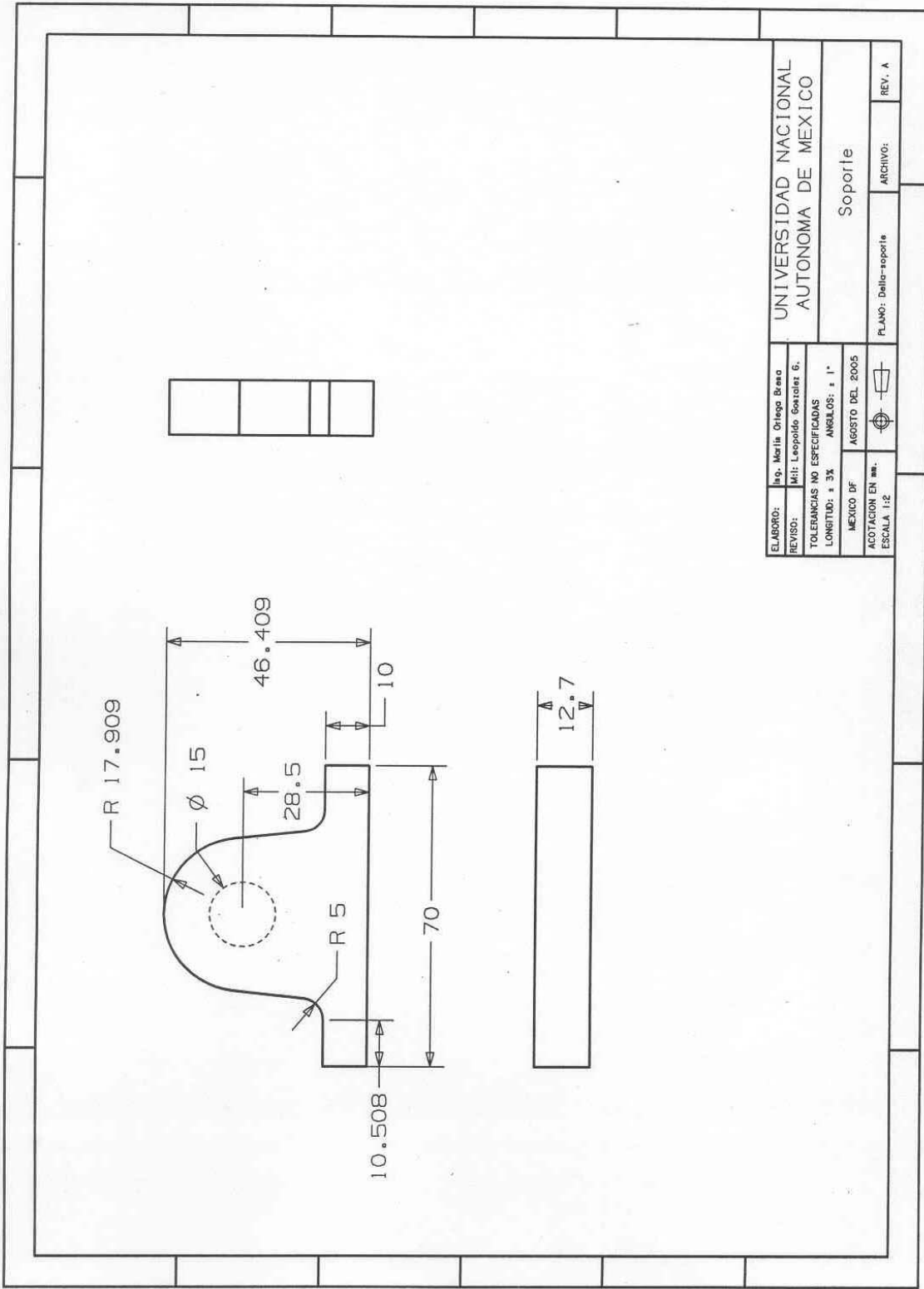


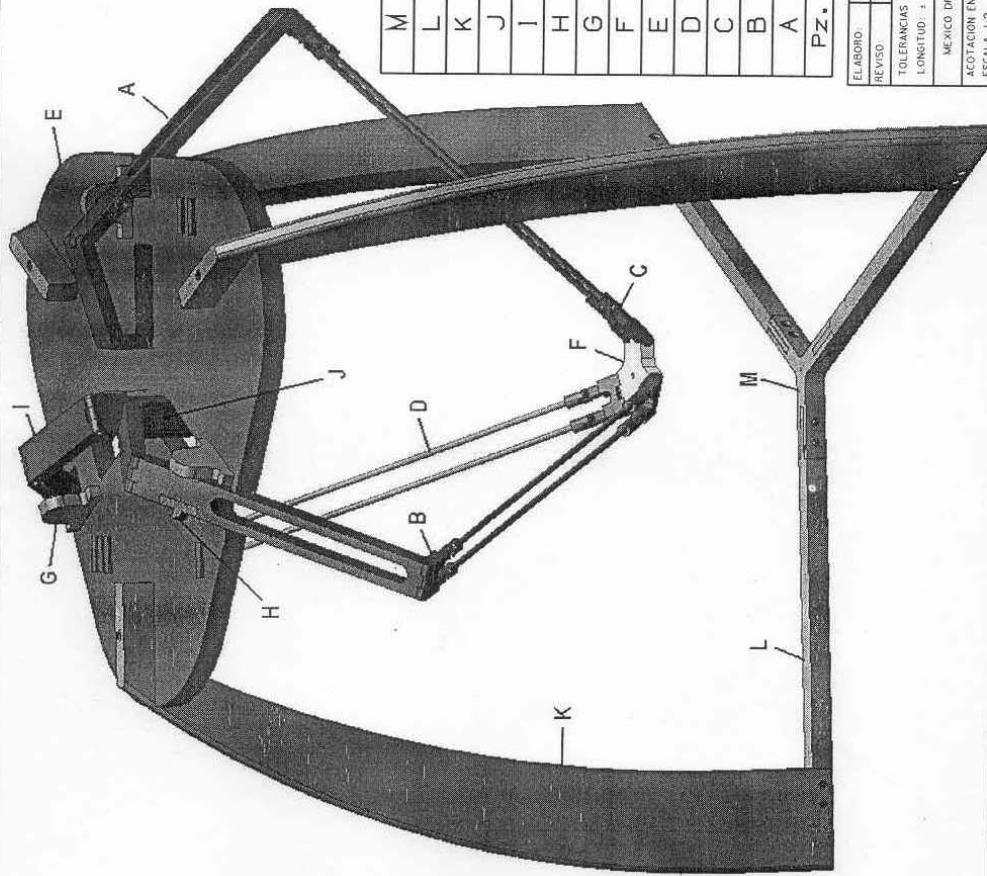
ELABORADO:	Ing. Meritx Oteaga Breaa	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
REVISADO:	Mtj. Leopoldo Gonzalez G.	
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS		
LONGITUD: $\pm 3\%$ ANGULOS: $\pm 1^\circ$		
MEXICO DF	AGOSTO DEL 2005	Cople
ALCOTACION EN mm.		
ESCALA 1:1		
		PLANO: Dello-cople
		ARCHIVO:
		REV. A



ELABORADO:	Ing. María Ortega Bravo	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	Paña
REVISADO:	Ing. Leopoldo González G.		
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS:	ANGULOS: $\pm 1^\circ$		
LONGITUD: $\pm 3\%$	AGOSTO DEL 2005		
MEXICO DF			
ACOTACION EN mm.			
ESCALA 1:2			
		PLANO: Dello-base-04	ARCHIVO:
			REV. A







M	Conector delta	3
L	Tirante	3
K	Pata	3
J	Contrapeso secundario	3
I	Contrapeso primario	3
H	Cople	3
G	SopORTE	3
F	Plataforma movil	1
E	Plataforma fija	1
D	Barra hueca	6
C	Juntas Universales	12
B	Junta H	6
A	Brazo	3
Pz.	Parte	Cont.

ELABORADO:	Ing. Maria Ortega Brea
REVISADO:	Mt. Leopoldo Gonzalez G.
TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS	LONGITUD: : 3% ANGULOS: : 1°
MEXICO DF	AGOSTO DEL 2005
ESCALA 1:2	
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
Ensamble	
PLANO NUMERO: Es-01	ARCHIVO:
	REV. A

Bibliografía

[1] The Parallel Mechanisms Information Center

<http://www.parallemic.org/>

[2] Mendoza Flores Shair

Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería

“Análisis cinemático y dinámico de un robot delta”

Posgrado de Ingeniería, UNAM.

[3] Miller Karol

“Optimal Design and Modeling of Spatial Parallel Manipulators”

The International Journal of Robotics Research, Vol. 23, No. 2, February 2004, pp. 127-140

[4] MSC Software

“Simulating Reality”

www.mscsoftware.com.au

[5] Bennet Brusom

“Parallel Kinematic robots”

<http://www.roboticonline.com/public/articles/archivedetails.cfm?id=797>

[6] Danaher Motion

“Servo & Stepper System Selection Guide”

www.danahermotion.com

[7] Stock Drive Products / Sterling Instruments

E Product Manager

<https://sdp-si.com/eStore/>

[8] PLM Solutions

Unigraphics 2.0 Cast