



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada
Unidad Querétaro

Posgrado en Tecnología Avanzada

DISEÑO DE UN MECANISMO DE ROTACION PURA PARA BRINDAR MOVILIDAD A UNA CABEZA ARTIFICIAL.

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN TECNOLOGÍA AVANZADA

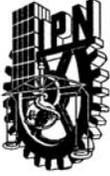
PRESENTA

Rodrigo Valencia Argüello

Director de Tesis

Dr. Eduardo Castillo Castañeda





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Querétaro siendo las 14:00 horas del día 25 del mes de Noviembre del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA Qro. para examinar la tesis titulada:

DISEÑO DE UN MECANISMO DE ROTACION PURA PARA BRINDAR MOVILIDAD A UNA CABEZA ARTIFICIAL

Presentada por el alumno:

VALENCIA

Apellido paterno

ARGÜELLO

Apellido materno

RODRIGO

Nombre(s)

Con registro:

B	0	9	1	5	7	9
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA AVANZADA

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

Dr. Eduardo Castillo Castañeda

Dr. Eduardo Morales Sánchez

Dr. Alejandro Alfredo Lozano Guzmán

Dr. Alberto Traslosheros Michel

M. en C. Maximiano Ruiz Torres

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dr. Jorge Adalberto Huerta Ruelas



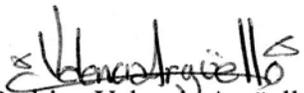


INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Querétaro el día 25 del mes Noviembre del año 2011, el (la) que suscribe Rodrigo Valencia Argüello alumno (a) del Programa de Maestría en Tecnologías Avanzadas con número de registro B091579, adscrito a CICATA Qro., manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Eduardo Castillo Castañeda y cede los derechos del trabajo intitulado “DISEÑO DE UN MECANISMO DE ROTACION PURA PARA BRINDAR MOVILIDAD A UNA CABEZA ARTIFICIAL”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección Cerro Blanco No. 141. Col. Colinas del Cimatario, Santiago de Querétaro, Querétaro México, C.P. 76090; ecastilloaipn.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


Rodrigo Valencia Argüello

Nombre y firma

*Dedico esta tesis a la memoria de madre, así como a mi
hermana y mi sobrina las mujeres más importantes en mi vida.*

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer de la manera mas honesta a todas las personas e instituciones que hicieron esto posible:

Al Dr. Eduardo Castillo Castañeda por haber confiado en mí para la realización de este proyecto.

Al equipo de percepción y movimiento (P&M) de Instituto de Sistemas Inteligentes y Robótica (ISIR) de la Universidad Pierre y Marie Curie (UPMC), por el apoyo recibido a lo largo de este proyecto.

A todos mis amigos y familiares, quienes tuvieron el carácter para alentarme a seguir con el sueño de mi vida.

Al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgar los recursos económicos necesarios durante el desarrollo de este proyecto.



INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	I
INDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	IV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	V
RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
1.INTRODUCCION.....	3
1.1 CONTEXTO DEL PROBLEMA.....	4
1.2 ESTADO DEL ARTE.....	5
1.3 ROBOTS PARALELOS DE ROTACION PURA	6
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.5 OBJETIVO GENERAL.....	9
1.6 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	9
1.7 JUSTIFICACION	10
2.GENERALIDADES	11
2.1 MECANISMOS PARALELOS.....	12
2.1.1 CLASIFICACION DE ROBOTS PARALELOS.....	14
2.1.2 ANALISIS CINEMATICO DE ROBOTS PARALELOS.....	17
2.2 SISTEMAS DE CONTROL DE MOVIMIENTO.....	18
2.2.1 CONTROLADOR <i>PIC-SERVO</i>	27
3.CARACTERIZACION DE MOVIMIENTO	31
3.1 EXPERIMENTO PREVIO	32
3.2 INSTRUMENTACION	33
3.3 EXPERIMENTO	36
3.4 ANALISIS DE GRAFICAS DE MOVIMIENTO.....	37
3.5 CARACTERISTICAS DE MOVIMIENTO.....	39
3.6 PARAMETROS GEOMETRICOS	40
3.7 PERFILES DE VELOCIDAD Y ACELERACION.....	42
4.DISEÑO MECANICO.....	49



4.1 DISEÑO CONCEPTUAL.....	49
4.2 REQUERIMIENTOS DEL USUARIO	50
4.3 RESULTADO DE DISEÑO CONCEPTUAL	54
4.4 ARTIFICIAL NECK ROBOT (ANR).....	56
4.5 CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO.....	58
4.6 MEJORA DEL DISEÑO MECANICO	59
5.DISEÑO DE CONTROL	64
5.1 CARACTERIZACION DEL SISTEMA	64
5.2 ADAPTACION DE SOFTWARE Y CONTROLADOR.....	66
5.3 ESTRUCTURA BASICA DE UN PROGRAMA.....	71
6.EXPERIMENTACION	74
6.1 SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS	74
6.2 PREPARACION DEL EQUIPO DE COMPUTO.....	76
6.3 PRUEBAS FINALES	79
7.CONCLUSION.....	83
7.1 LIMITACIONES	84
7.2 TRABAJOS FUTUROS	85
REFERENCIAS	86
ANEXOS	88



ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1 Clasificación por articulación</i>	14
<i>Tabla 2.2 Configuración de pines para el puerto USB del convertidor SSA-485</i>	28
<i>Tabla 2.3 Configuración de pines para la comunicación RS485 entre el convertidos SSA-485 y la tarjeta PIC-SERVO SC</i>	29
<i>Tabla 2.4 Configuración de pines para el conector DB15 de la tarjeta PIC-SERVO SC</i>	29
<i>Tabla 3.1 Amplitud de movimiento</i>	41
<i>Tabla 4.1 Identificación de requerimientos</i>	51
<i>Tabla 4.2 Ponderación de requerimientos</i>	52
<i>Tabla 4.3 Ponderación de soluciones</i>	53
<i>Tabla 4.4 Traducción de requerimientos en parámetros mensurables</i>	55
<i>Tabla 5.1 Ganancias del controlador PID para ANR</i>	66
<i>Tabla 7.1 Amplitud de movimiento</i>	84



ÍNDICE DE ANEXOS

A1 “PLANOS”	A
A2 “NMC-LIB Constantes”	B
A3 “NMC-LIB Funciones”	C
A4 “NMC-LIB”	D
A5 “PUBLICACIONES”	E



RESUMEN

En este trabajo se presenta el desarrollo de un mecanismo de rotación pura para brindar movilidad a una cabeza artificial, considerando la amplitud de movimiento y perfiles de velocidad y aceleración del cuello humano.

El dummy de pruebas *Ku 100* fabricado por la empresa NEUMAN, debido a sus cualidades acústicas es utilizado para la calibración de sistemas de audio en auditorios y salas de junta. En el mundo de la investigación su principal aplicación es para estudiar la percepción sonora en diferentes entornos.

El equipo de percepción y movimiento (P&M) de Instituto de Sistemas Inteligentes y Robótica (ISIR) en el marco del proyecto *Fusión de Datos Multimodal*, utilizan al KU 100 para estudiar las características de percepción acústica.

De acuerdo al diseño original del KU 100 este debe permanecer estático sobre una plataforma, sin embargo esto reduce su campo de percepción, por lo cual se propone el diseño, fabricación, control y puesta en marcha de un mecanismo de rotación pura, el cual sea capaz de orientar al KU 100 en el espacio mediante tres rotaciones puras.

Con el desarrollo de este proyecto se establecen las bases de investigación sobre mecanismo de rotación pura además de brindar un mecanismo completamente funcional para la investigación sobre percepción.



ABSTRACT

This work presents the development of pure rotational mechanism to provide movement for an artificial head, considering the movement range and velocity and acceleration profiles of the human neck.

The test dummy KU 100 made by NEUMAN because of its acoustic qualities is used for the calibration of audio systems in auditoriums and meeting rooms. In the research field, its principal application is for study the sound perception on different fields.

The team of perception and movement (P&M) of the Institute of Intelligent Systems and Robotics (ISIR) according with the project of Fusion of multimodal data uses the KU 100 to study the characteristics of the acoustic perception.

According the original design of the KU 100, it most to be fixed to an static platform, but it reduce its perception range, that's why it's very necessary design , control, fabrication and set on of a pure rotational mechanism, which must to be able to orientate KU 100 through three pure rotational movements.

With the development of this project we try to set the bases of the research of spherical mechanism and provide a full-functional mechanism for the research about perception.



1. INTRODUCCION

En la actualidad el desarrollo de sistemas mecánicos que simulen los movimientos de cuerpo humano son muy diversos, e intentan copiar de manera directa todo el cuerpo humano o bien cada uno de sus sistemas motrices, esto tiene muchas aplicaciones que van desde la construcción de prótesis hasta la generación de robots con capacidades similares a las de los humanos enfocados a la asistencia, compañía o servicio.

Emular los movimientos del ser humano ha sido tema de interés para el mundo de la robótica desde hace muchos años, ya sea para lograr diseños más amigables o para encontrar soluciones más simples a problemas de control de movimiento. El desarrollo de robots humanoides comprenden el diseño de múltiples subsistemas interconectados, cada uno con una dinámica diferente pero no independiente de los demás. En el caso del posicionamiento en el espacio de la cabeza, existe una gran cantidad de posibilidades, con su respectivo espectro de singularidades. Este posicionamiento, puede ser objeto del cambio de posición de los pies, de la cadera o bien del cuello.

Con el actual desarrollo de robots humanoides con capacidades tan similares a las de los seres humanos han surgido nuevas necesidades, una de las más importantes es la de dotar a estos robots de todos los sentidos necesarios para poder conocer y dominar su entorno de la misma manera en la que los seres biológicos lo hacen. Hoy en día, este tipo de robots son capaces de ver, escuchar, hablar e incluso de sentir olores y sensaciones táctiles, sin embargo dotar a estos robots de todos estos sentidos y pretender que conserven una forma similar a la humana sigue siendo una tarea compleja.



Como es bien conocido, la mayoría de los sentidos del ser humano se ven amplificados o mejorados por condiciones motrices, posturas y otras características propias del ser humano. Dos de los principales sentidos de reconocimiento del entorno son la vista y la audición; mientras que el campo de la visión artificial está muy bien sustentado a nivel internacional por cientos de investigaciones, el reconocimiento auditivo no es un campo tan desarrollado.

Con la aplicación de técnicas computacionales en conjunción con elementos de adquisición de datos (micrófonos) es posible llevar a cabo el reconocimiento auditivo que inclusive con un correcto desarrollo de técnicas de inteligencia artificial es posible que un robot aprenda, reconozca y decida entre varios estímulos acústicos. Sin embargo dotar a un robot de micrófonos no es suficiente para asegurar que este pueda percibir de manera adecuada todos los estímulos acústicos de su entorno. Para solucionar eso de manera natural el ser humano posiciona su cabeza con ayuda de su cuello para poder tener una mejor percepción acústica ya que estos estímulos están presentes en un entorno tridimensional.

1.1 CONTEXTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de este proyecto sirve como herramienta a un proyecto mucho más amplio, este proyecto base es el de percepción del espacio dimensional desarrollado por Bruno Gas y sus colaboradores (Gas, 2010) en el ISIR (Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique) de la UPMC (Université Pierre et Marie CURIE), donde se presenta la necesidad de fusionar la información de los sentidos del oído y la vista con la finalidad de dotar a un robot humanoide con la capacidad de reconocer su entorno.



En el mundo de la ingeniería, el desarrollo de sistemas de percepción visual es un campo muy estudiado, incluso en sistemas visión estereoscópicos . Sin embargo el desarrollo de sistemas auditivos estereofónicos para la percepción espacial en tres dimensiones es un campo muy poco desarrollado y mucho menos aún un campo que conjugue ambos métodos de percepción.

La tendencia natural de la ingeniería es observar los sujetos biológicos para encontrar las soluciones más simples a problemas que pudieran ser muy complejos en parámetros ingenieriles. En este caso aun percibiendo estímulos visuales y auditivos no es suficiente para obtener la mayor parte de la información espacial. Por lo que un posicionamiento espacial de los sensores nos brindaría una mejor percepción.

Por lo anterior surge la necesidad de diseñar un dispositivo mecánico que sea capaz de posicionar una cabeza artificial en el espacio, lo cual se pretende lograr con el desarrollo del proyecto ***“Diseño De Un Mecanismo Paralelo De Rotación Pura Para Brindar Movilidad A Una Cabeza Artificial”***.

1.2 ESTADO DEL ARTE

Los robots paralelos ofrecen varias ventajas sobre los robots en serie, tales como una mayor rigidez, una mayor carga útil / peso, reducida inercia, y una mayor precisión. Las desventajas son menor destreza, un espacio de trabajo más pequeño, aparición de singularidades en cualquier lugar del espacio de trabajo, y un tratamiento matemático más complejo.

Gough y Whitehall en 1962 diseñó el primer mecanismo totalmente paralelo de 6 grados de libertad neumático. Stewart en 1965 propuso un mecanismo similar para su uso como un simulador de vuelo. En robótica, este concepto tiene la desventaja de una baja destreza (espacio de trabajo pequeño, y orientación restringida).



En el diseño de robots en serie, es conveniente separar las funciones de posicionamiento de la de orientar la pinza, es decir en manipulador serial está generalmente compuesto por una estructura de posicionamiento seguido por una estructura de orientación (la muñeca). Donde la muñeca cambia su orientación durante el movimiento. En otras palabras, la orientación de la pinza se acopla a su posición.

Este problema fue superado por Clavel en 1985, plantea una estructura de posición (Delta) que mantiene la orientación de su efector final con respecto a la base. Este concepto ha sido patentado y el nombre del paralelogramo "espacial", indicando que el efector final se someterá a la translación pura solamente. (Vischer & Clavel, 2000)

1.3 ROBOTS PARALELOS DE ROTACION PURA

Actualmente el campo de la robótica se ha enfocado a desarrollar robots paralelos, en especial robots con menos de 6 grados de libertad (DOF) que suponen un buen desempeño con una estructura más simple. Un ejemplo claro de este tipo de desarrollos son los llamados *Robots Paralelos de Rotación Pura* que también son como conocidos como esféricos.

La mayoría de este tipo de mecanismos supone una estructura mecánica generada por un conjunto cooperativo de tres piernas, casi siempre con tres articulaciones de rotación, lo que conlleva errores en el desempeño, aunque se han propuesto cadenas URC donde se cuenta con una articulación universal una de rotación y una cilíndrica, lo cual permite un mejor desempeño con la dificultad de que las articulaciones cilíndricas presentan errores de lubricación y bloqueo mecánico. (Takeda & Huda, 2007)



Un mecanismo paralelo esférico con tres grados de libertad puede entenderse como un mecanismo que no permite variación en ninguna de las tres translaciones posibles y en el cual la orientación del dispositivo de salida está determinada por los ángulos de entrada que proporcionan los actuadores establecidos en la base. Este tipo de mecanismos pueden ser utilizados para simular muñecas, hombros incluso caderas con una gran precisión, alta velocidad así como elevada capacidad de carga. Existen diversos mecanismos paralelos propuestos en la literatura que tienen la finalidad de brindar rotación pura. Partiendo de la idea de que un robot paralelo de rotación pura puede cumplir con dicha tarea se pueden clasificar en dos grupos: sistemas tipo muñeca (wrist) o bien como robots paralelos esféricos. Este tipo de robots son ocupados principalmente en sistemas hápticos (Adelstein, Ho, & Kazerooni, 1996) y de posicionamiento de cámaras.

En el caso específico de la reproducción de los movimientos del cuello humano la mayor parte de las aplicaciones conllevan la utilización de articulaciones prismáticas o bien de actuadores lineales (Biera, y otros, 2006), sin embargo la aplicación de este tipo de articulaciones trae consigo una considerable complicación en el control. Por otro lado existen robots paralelos de rotación pura que son actuados mediante motores, reduciendo así la complejidad del control pero reduciendo también la rigidez del mecanismo por lo que en muchos casos se propone la implementación de pivotes (Di Gregorio, 2003) que aumenten la rigidez del mecanismo, aseguren la rotación pura e incrementen notoriamente su capacidad de carga.

Este tipo de pivotes acoplados a la plataforma móvil mejoran notoriamente el desempeño mecánico del sistema, sin embargo para evitar bloqueos mecánicos el mecanismo deberá prevenir la existencia del pivote en su espacio de trabajo por lo que el tamaño del sistema se ve afectado. Así mismo por tratarse de rotación pura, las articulaciones que unen a los brazos del robot paralelo con la plataforma móvil deberán ser esféricas con lo que obtenemos una muy buena movilidad pero un juego mecánico muy grande, lo que vuelve al robot menos preciso.



La solución más viable con respecto a la utilización de articulaciones esféricas, es descomponerla en una articulación universal y una rotacional con una distancia entre ellas lo más cercana a cero posible (Takeda & Huda, 2007). No obstante que el mecanismo tendría tanto rigidez como precisión su análisis cinemática, su diseño y su construcción serian sumamente complejas, en búsqueda de una simplificación de todos los factores antes mencionados se puede contemplar el uso del sistema “Agile eye” (Gosselin & Angeles, 1989).

Sin duda el sistema Agile eye es uno de los robots paralelos de rotación pura más completos diseñados hasta el momento, debido a que conjuga un diseño relativamente simple, articulaciones rotacionales, rigidez mecánica y un tamaño pequeño. Sin embargo el diseño propuesto tiene un problema con una de las rotaciones (rolling) debido a que sólo alcanza una amplitud de 30 grados (Shaoping, Hansen, & Angeles, 2009) lo cual satisface los requerimientos cuando se trata de posicionar una cámara, pero no cuando se trata de homologar los movimientos del cuello humano.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El diseño original del dunny de pruebas establece que este estatico sobre un tripié, sin embargo de esta forma la amplitud de movimiento se reduce solo al campo auditivo justo enfrente del sistema, y considerando que de forma natural el ser humano reorienta su cabeza para lograr la mejor percepción posible es necesario brindar movimiento al dummy de pruebas mediante un sistema mecatronico controlado por computadora obtenidas acústicamente. en sincronía con el sistema de adquisición de datos.



Por lo que se propone diseñar, contruir y controlar un sistema mecatronico capaz de posicionar una cabeza artificial en el espacio basándose en los datos obtenidos por un sistema de adquisición de datos visuales y auditivos.

El movimiento del mismo deberá ser lo más preciso y constante posible, por lo que se pretende utilizar actuadores rotacionales. Además deberá tener un diseño robusto capaz de soportar una carga aproximada de 4 kg colineales a su centro de giro.

El desarrollo de este sistema pretende establecer las bases para la investigación de mecanismos de rotación pura, principalmente robots paralelos, enfocados al desarrollo de robots humanoides.

1.5 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño de un robot que emule el cuello humano mediante un mecanismo capaz de brindar 3 grados de libertad en rotación pura a un dummy de pruebas con la finalidad de orientarlo en el espacio. El movimiento de dicho robot deberá ser lo más similar posible al movimiento humano comprendiendo características de rango de movimiento y perfiles de velocidad y aceleración.

1.6 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar parámetros dimensionales y cinemáticos del movimiento de la cabeza humana
- Diseñar un mecanismo de rotación pura
- Establecer una plataforma de control compatible con el sistema de adquisición de datos acústica.
-



1.7 JUSTIFICACION

Existen diversos sistemas de posicionamiento en el espacio, desde robots traslacionales hasta simples bases actuadas, que ubican cámaras en el espacio. La mayoría de los sistemas convencionales tienen solo dos grados de libertad (sistemas de posicionamiento tipo Pan-tilt) o su centro de giro no coincide provocando movimientos traslacionales (controladores hápticos y muñecas robóticas), bloqueos mecánicos y en algunos casos singularidades. En muchos casos donde se pretende lograr efectos de rotación pura, se implementan robots paralelos con articulaciones prismáticas que conllevan errores y complejidad de control.

Para dar solución a estos problemas se propone el diseño de un mecanismo de estructura rígida capaz de brindar tres rotaciones puras en un solo punto, actuado por motores CD. Buscando con ello que se logren movimientos más precisos, estables y que puedan homologar las características del movimiento humano como lo son rango de movimiento y simultaneidad así como perfiles de velocidad y aceleración.



2. GENERALIDADES

Observando a la mecatrónica como una disciplina que combina diferentes ramas de la ingeniería es necesario establecer las bases conceptuales necesarias para desarrollar un proyecto definido dentro de la mecatrónica.

Como tal la mecatrónica combina las siguientes ramas de la ingeniería:

- Mecánica
- Electrónica
- Informática
- Eléctrica

Para la elaboración de un proyecto de mecatrónica es necesario dominar estas áreas. Es importante señalar que las cuatro ramas son muy extensas y conllevan un estudio superior para su entendimiento, sin embargo se pueden estudiar elementos particulares de las mismas en base a un conocimiento superior de ingeniería.

Con la finalidad de establecer una base firme de conocimientos, podemos acotar el estudio de cada una de estas ramas de la siguiente forma:

- Mecánica: Estudio de mecanismos paralelos aplicados a la robótica, su clasificación y análisis
- Electrónica, informática y eléctrica: Estudio de modelos de control clásico, así como su aplicación mediante electrónica.
-



2.1 MECANISMOS PARALELOS

Dentro del mundo de la robótica se pueden implementar diferentes estructuras mecánicas con la finalidad de posicionar un objeto en el espacio, dicho objeto puede ir desde una simple pieza dentro de un ensamble, hasta herramientas específicas para realizar una tarea dentro de un sistema de producción. A esta herramienta se le conoce como efector final.

En el análisis más básico de estas estructuras mecánicas, podemos decir que se trata de diferentes combinaciones de mecanismos de barras y de acuerdo a su disposición en el espacio entraran dentro de subcategorías establecidas para su análisis.

Podemos diferenciar dos principales categorías de acuerdo a la interconexión de los elementos que las forman, haciendo referencia a los circuitos eléctricos dicha clasificación es entonces, en mecanismos seriales y mecanismos paralelos.

Por definición los mecanismos seriales son aquellos que conectan cada uno de los eslabones de la cadena de manera seriada, es decir el origen de un eslabón estará conectado al final del eslabón que le precede, partiendo de un punto fijo hasta lograr la cadena cinemática requerida, tal que nos permita posicionar en el espacio al efector final, observando en el conjunto una cadena cinemática abierta.

En el caso de los mecanismos paralelos encontraremos por lo menos dos cadenas cinemáticas interconectadas en su base y en el efector final; cada cadena cinemática será independiente de las demás, sin embargo, el movimiento del efector final será resultado del trabajo cooperativo de cada una de las cadenas cinemáticas del conjunto final.

En general podemos decir que un manipulador paralelo es: ***Un mecanismo donde el efector final está conectado con la base mediante varias cadenas cinemáticas de lazo cerrado independientes*** (Merlet, 2000).



Cuando podemos controlar la posición del efector final y programar tareas específicas a un mecanismo, decimos que tenemos un robot. Además de las diferencias mecánicas antes mencionadas entre robots seriales y paralelos existen numerosas ventajas entre ambas configuraciones de manipuladores.

- **Carga:** De acuerdo a análisis dinámicos en laboratorios e industria los robots seriales tienen una relación de apenas 0.15 entre carga y masa del manipulador es decir para desplazar una carga de 500 Kg se requiere aproximadamente un robot de 3.3 toneladas (Merlet, 2000). Mientras que al efectuar un trabajo cooperativo, los robots paralelos pueden mover cargas mucho mayores.
- **Control:** Dependiendo del número de grados de libertad del manipulador, se requerirán igual número de actuadores, donde cada uno de los actuadores requerirán de un control. En el caso de los robots seriales cada controlador deberá lidiar con los efectos inerciales de los eslabones que colindan con el eslabón a controlar haciendo necesario un algoritmo de control mucho más complejo. En el caso de los robots paralelos al tener cadenas cinemáticas independientes trabajando en equipo los efectos inerciales pueden ser despreciados, al establecer una correcta cinemática.
- **Precisión:** Cada uno de los eslabones de la cadena cinemática sin importar su configuración estarán sometidos a diferentes esfuerzos en cualquier condición de trabajo. En muchas ocasiones dichos esfuerzos generan una deformación que no es posible medirla en tiempo real, esta deformación por mínima que sea modificará la posición del efector final. En los robots seriales, dicho error se suma de manera consecutiva desde la base hasta el efector final disminuyendo su precisión, mientras que en el caso de los robots paralelos al tener cadenas cinemáticas independientes, el error aunque existente no se suma de manera consecutiva y solo afecta en ciertos instantes en la trayectoria.



2.1.1 CLASIFICACION DE ROBOTS PARALELOS

Existen diferentes tipos de clasificación para los robots paralelos, estas van de acuerdo a su configuración geométrica, mecánica, a la forma en como cambian la orientación y posición del efector final, e incluso por la cantidad de grados de libertad del mecanismo.

La primer clasificación de robots paralelos obedece a la cantidad y tipo de articulaciones que este tenga por cadena cinemática, Podemos definir cuatro tipos de articulaciones, Rotacional (R), Prismática (P), Esférica (S) y Universal (U). Las características de las mismas están definidas en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Clasificación por articulación

ARTICULACIONES PRINCIPALES			
Articulación	GDL	Descripción	Ejemplo
Rotacional	1	Permite el giro en un solo eje	Rodamiento convencional
Prismática	1	Permite el desplazamiento en un solo eje	Guía cola de milano
Esférica	3	Permite la rotación pura en tres ejes	Rotula
Universal	2	Permite dos movimientos, combinando dos rotaciones o una rotación y una traslación.	Mecanismo de 4 barras

En cada cadena cinemática simple podemos encontrar n articulaciones, y estas podrían estar actuadas o pasivas, por lo regular solo las articulaciones conectadas a la base suelen ser actuadas, estas articulaciones actuadas suelen estar resaltadas en la notación subrayando la articulación.

Dentro de la literatura podemos encontrar un gran número de articulaciones posibles, aplicando diferentes principios básicos de mecánica, sin embargo las cuatro articulaciones antes mencionadas, son sin duda las más utilizadas en la actualidad, y establecen los principios de movimiento de cualquier otra articulación posible (Gong, Zhang, & Gao, 2007).

Otra forma de clasificación es la manera en que dicho robot posiciona al efector final en el espacio, de esta manera podemos encontrar dos tipos diferentes de robots paralelos:

- **Planares:** Este tipo de robots solo pueden posicionar un objeto en un espacio de dos dimensiones. Este tipo de robots pueden reagruparse de acuerdo al número de grados de libertad (GDL), debido a su configuración pueden ofrecer 2GDL, es decir desplazamiento en X y en Y (Figura 2.1); y 3GDL teniendo la capacidad de posicionar al efector final mediante los dos desplazamientos antes mencionados y una rotación en el eje Z .

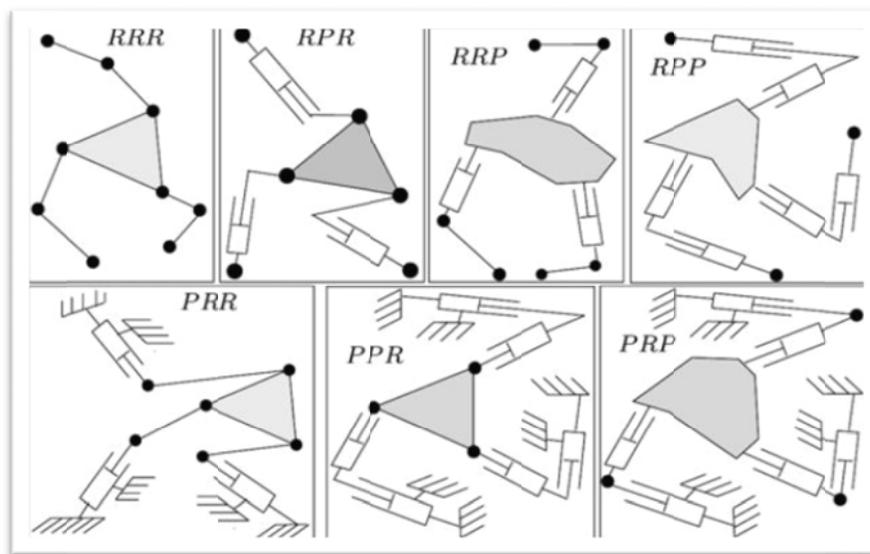


Figura 2.1 Robots paralelos planares (Merlet, 2000)



- **Espaciales:** Debido a la configuración mecánica de este tipo de robots, se logra tener un mayor número de grados de libertad, siendo capaz de posicionar al efector final en cualquier punto de su espacio de trabajo, que en este caso es de tres dimensiones.

La clasificación más importante sin duda es la que corresponde a la agrupación de robots paralelos con respecto a sus grados de libertad, cabe mencionar que el seis es el número máximo de grados de libertad logrando con ello posicionar el efector final mediante tres translaciones y la orientación del mismo mediante tres rotaciones.

El análisis cinemático se complica en función del número de grados de libertad del manipulador, es por ello que la mayoría de los diseños actuales presentan diseños de tres grados de libertad. Es cierto que mediante solo tres grados de libertad son suficientes para garantizar un amplio espacio de trabajo, sin embargo muchos de los robots actuales implementan la integración de varios sistemas mecánicos para lograr una mayor movilidad. Ejemplo de esto es la integración de sistemas paralelos de traslación pura de 3GDL para el posicionamiento de un robot paralelo de rotación pura de 2GDL donde el efector final de este, es una herramienta de corte, todo con la finalidad de generar una máquina herramienta de control numérico(Figura 2.2), mucho mas versátil que un CNC convencional.



Figura 2.2 Orthoglide (Majou, Wanger, & Chablat, 2002)



2.1.2 ANALISIS CINEMATICO DE ROBOTS PARALELOS

Mientras que para el caso de los robots seriales existen métodos genéricos (como el propuesto por Denavit Hartenberg) y comprobados para el análisis cinemático y dinámico para cualquier estructura posible, en el caso de los robots paralelos por su complejidad geométrica existen adaptaciones matemáticas para el análisis de la cinemática directa e inversa según su configuración.

Es relevante para el desarrollo de esta tesis conocer el procedimiento para el cálculo de la cinemática inversa de los robots paralelos esféricos. La cinemática inversa nos permite conocer la posición del efector final de acuerdo a la posición angular de cada una de las articulaciones. Establecer la cinemática inversa es esencial para poder desarrollar un correcto control de posición del efector final.

Si consideramos que la plataforma móvil está conectada con la plataforma fija mediante diferentes cadenas cinemáticas, A representa el final de la cadena cinemática acoplada a la plataforma fija, mientras que B representa el final de la cadena cinemática conectado a la plataforma móvil. A tiene coordenadas conocidas en la base, mientras que B tiene coordenadas en la plataforma móvil de acuerdo a la posición de la mismo, si X representa el sistema de coordenadas generales de la plataforma móvil:

$$AB = AO + OB = H_1(X) \quad (2.1)$$

Con la ecuación 2.1 podemos determinar la posición de los extremos de cada cadena cinemática, que por lo regular son las articulaciones actuadas. Sin embargo es necesario calcular la cinemática inversa de cada cadena, nótese que de esta forma se involucran las coordenadas de una sola cadena sin importar el comportamiento de el resto de las cadenas, sin embargo el cálculo se puede hacer en paralelo para todas las cadenas mediante el ángulo θ el cual nos permite calcular el vector AB .

$$AB = H_2(X, \theta) \quad (2.2)$$



Podemos entonces encontrar las coordenadas de cada articulación mediante la siguiente ecuación:

$$H_1(X) = H_2(X, \theta) \quad (2.3)$$

Mediante este principio podemos conocer no solo las coordenadas de las articulaciones actuadas, si no también podemos conocer las coordenadas de las articulaciones pasivas, la complejidad del método como se mencionó con anterioridad estará determinada por la cantidad de grados de libertad.

Sin embargo, se puede particularizar dicho método con respecto a la estructura deseada, que este caso es un robot paralelo esférico.

2.2 SISTEMAS DE CONTROL DE MOVIMIENTO

Para el correcto desempeño del motor es necesario establecer un sistema de control de movimiento, en el caso particular trataremos de un sistema PID el cual nos ayudara a asegurar que la posición alcanzada por el mecanismo sea la deseada.

Los motores de corriente directa son los tipos de actuadores más comunes para servomecanismos. Los más utilizados son los motores de corriente directa de imán permanente con escobillas y sin escobillas. La función de transferencia que representa la relación entre la posición angular de salida, $\theta(s)$, de un motor de corriente directa y su voltaje de alimentación, $E_a(s)$, es la que se presenta a continuación:



$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K_m}{s(T_m s + 1)} \quad (2.4)$$

Con:

$$K_m = \frac{K_i}{R_a B + K_i K_f} \quad (2.5)$$

$$T_m = \frac{R_a J}{R_a B + K_i K_f} \quad (2.6)$$

Donde:

Kt: Constante de par del motor.

R: Resistencia de la armadura.

B: Coeficiente de fricción viscosa.

K: Constante de velocidad del motor.

J: Momento de inercia.

La función de transferencia de la ecuación 2.4 se deriva del modelado electromecánico de los motores de corriente directa (Pichardo, 2008).

La determinación de los coeficientes de la función de transferencia, K_m y T_m , o identificación del sistema puede realizarse mediante varios métodos. Los más comunes son a partir de los datos de la placa del motor o bien utilizando técnicas de identificación experimental como la “identificación gráfica de parámetros como respuesta a una señal escalón para procesos de primer orden” (Grupe, 1972) y el ajuste de curvas mediante polinomios de interpolación de Lagrange (Faires & Burden, 1997) o mínimos cuadrados (Markovsky & Willems, 2005). Para cualquiera de las

técnicas de identificación experimental es necesario aplicar una señal de excitación, $E_x(s)$, al sistema y analizar su respuesta, usualmente en velocidad, $\Omega(s)$ (ver figura 2.3).

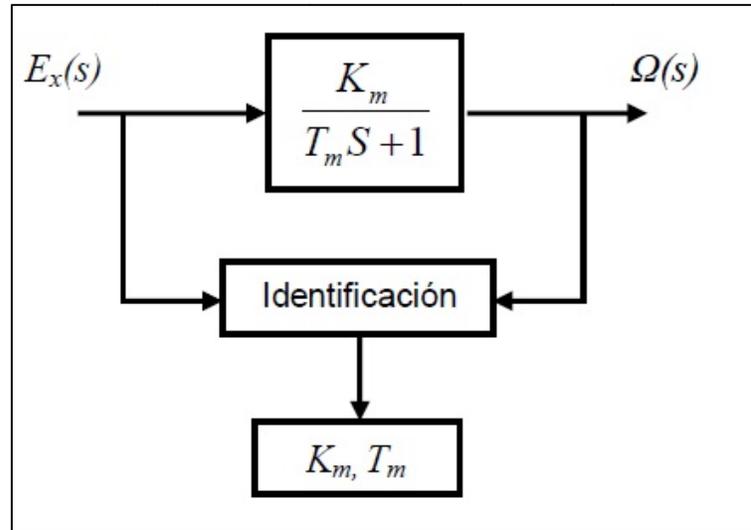


Figura 2.3 Diagrama para la identificación de un sistema

El comportamiento en posición angular de un motor de corriente directa es inestable, esto se debe a que una de las raíces del polinomio característico de su función de transferencia (polos) es igual a cero (ver ecuación 2.4). Esta situación tiene una explicación lógica, pues cuando alimentamos un motor en lazo abierto con un voltaje determinado éste inicia a girar ubicándose en infinitas posiciones angulares.

Para estabilizar el sistema se incorpora una retroalimentación, a esto se le conoce como “cerrar el lazo de control”. En un lazo de control cerrado la posición angular de salida, $\theta(s)$, es restada iterativamente de una posición de referencia, $\theta_r(s)$, para formar una señal de control tipo error, $E(s)$, que permita alcanzar la referencia (ver figura 2.4).

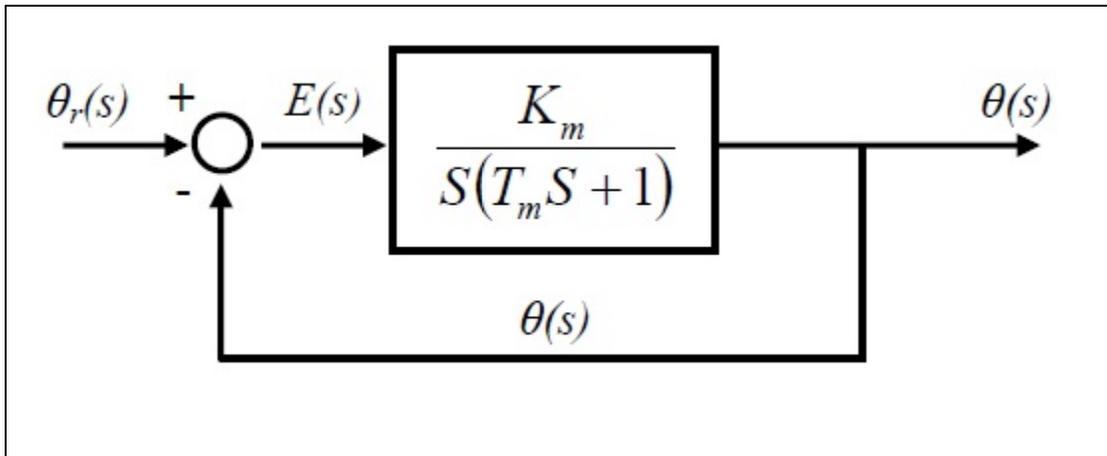


Figura 2.4 Diagrama de control de lazo cerrado

Al cerrar el lazo de control la función de transferencia expresada en la ecuación 1 se puede redefinir de la siguiente manera:

$$\frac{\theta(s)}{\theta_r(s)} = \frac{K_m}{S(T_m S + 1) + K_m} \quad (2.7)$$

O bien:

$$\frac{\theta(s)}{\theta_r(s)} = \frac{K_m}{T_m S^2 + S + K_m} \quad (2.8)$$

En la ecuación 2.8 debido a que los valores de K_m y T_m serán siempre mayores que cero es imposible que las raíces del polinomio característico (polos) adquieran valores de cero o valores reales positivos, por lo que el sistema se considera como estable.

La ecuación 2.8 podría definirse de la siguiente forma:

$$\frac{\theta(s)}{\theta_r(s)} = \frac{\frac{K_m}{T_m}}{S^2 + \frac{1}{T_m}S + \frac{K_m}{T_m}} \quad (2.9)$$

La ecuación 2.9 corresponde a un sistema de segundo orden de la forma:



$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2.10)$$

Con:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_m}{T_m}} \quad \xi = \frac{1}{2T_m\omega_n}$$

Donde:

C: Salida del sistema.

R: Entrada del sistema.

ω : Frecuencia natural no amortiguada del sistema.

ξ : Factor de amortiguamiento relativo.

Al aplicar la transformada inversa de Laplace a la ecuación 5 se puede obtener la siguiente respuesta en el tiempo (ver figura 2.5).

$$C(t) = 1 - e^{-\omega t} \left(\cos \omega_d t + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin \omega_d t \right) \quad (2.11)$$

Con:

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2}$$



La respuesta de un sistema de control práctico muestra con frecuencia oscilaciones amortiguadas antes de alcanzar el estado estacionario. Al especificar las características de la respuesta transitoria de un sistema de control es común especificar los siguientes índices de desempeño.

Tiempo de retardo, t_d : es el tiempo requerido para que la respuesta alcance la primera vez la mitad del valor final.

Tiempo de subida, t_r : es el tiempo requerido para que la respuesta alcance el 100 % de su valor final. La ecuación para calcularlo es:

$$t_r = \frac{1}{\omega_d} \left(\pi - \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi} \right) \right) \quad (2.12)$$

Tiempo pico, t_p : es el tiempo requerido para que la respuesta alcance el primer pico de sobreelongación. La ecuación para calcularlo es:

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d} \quad (2.13)$$

Sobreelongación máxima (porcentaje), M_p : es el máximo valor del pico de la curva de respuesta. La ecuación para calcularla es:

$$M_p = e^{-\left(\frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \right) x} \quad (2.14)$$

Tiempo de asentamiento, t_s : es el tiempo que se requiere para que la curva de respuesta alcance un rango alrededor del valor final del tamaño especificado por el porcentaje absoluto del valor final (por lo general de 2 o 5%). La ecuación para calcularlo es:

$$t_s = \frac{4}{\xi \omega_n} \quad (\text{criterio del 2\%}) \quad (2.15)$$



O bien:

$$t_s = \frac{3}{\xi\omega_n} \quad (\text{criterio del 5\%}) \quad (2.16)$$

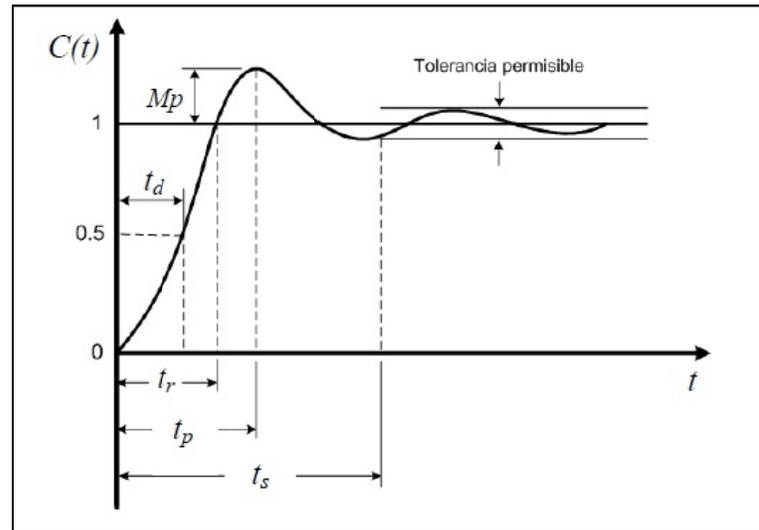


Figura 2.5 Índices de desempeño

En las ecuaciones 2.11, 2.12, 2.13, 2.14 y 2.15, es posible observar que los índices de desempeño dependen de ω_n y de ζ , de manera que es posible alcanzar cualquier índice de desempeño ajustando la frecuencia natural no amortiguada y/o el factor de amortiguamiento relativo.

La frecuencia natural no amortiguada y el factor de amortiguamiento relativo se ajustan a través de una acción de control. Esto quiere decir que sólo a través de una acción de control se pueden alcanzar los índices de desempeño deseados (especificaciones para un controlador). Es importante mencionar que los índices de desempeño deben ser definidos antes de diseñar el controlador para imponer el comportamiento al sistema según las necesidades.

El tipo de controlador más utilizado en la industria es el PID (Proporcional Integral Derivativo), su diagrama esquemático se presenta en la figura 2.6.

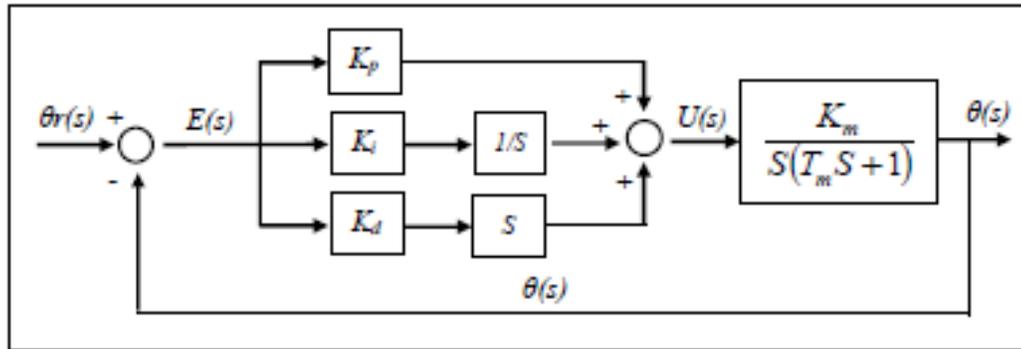


Figura 2.6 Diagrama de control PID

La función de transferencia de un controlador PID básico como el mostrado anteriormente es la siguiente:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_i \frac{1}{S} + K_d S \dots \quad (2.17)$$

Donde:

K_p : Ganancia proporcional.

K_i : Ganancia integral.

K_d : Ganancia derivativa

Un controlador tipo PID incorpora una acción proporcional, una acción integral ($1/S$) y una derivativa (S). La acción proporcional, muchas veces visualizada como una amplificación, envía una señal de control proporcional al error, haciendo que el sistema alcance más rápido la referencia, sin embargo, cuando la acción proporcional es muy grande el sistema se puede volver inestable produciendo sobreoscilación. Por otro lado la acción integral envía una señal de control proporcional al acumulado de



los errores a lo largo del tiempo. La sumatoria de los errores instantáneos a lo largo del tiempo provee el offset acumulado que debió haber sido corregido previamente.

La acción integral cuando se combina con la acción proporcional acelera el comportamiento del sistema hacia la referencia y elimina el error residual en estado estacionario, sin embargo, dado que la acción integral responde a errores acumulados del pasado usualmente genera oscilaciones inusuales. Finalmente la acción derivativa viene a reducir la magnitud de las oscilaciones producidas por la acción integral mejorando la respuesta transitoria del sistema. La acción derivativa tiene este efecto pues considera la tasa de cambio del error.

Anteriormente se había planteado que cuando se cierra el lazo de control la función de transferencia expresada en la ecuación 1 adquiere la forma de la ecuación 5, en donde los valores de la frecuencia natural no amortiguada, ω_n , y del factor de amortiguamiento relativo, ξ , dependen únicamente de los valores de, K_m y T_m . Sin embargo, cuando se introduce un controlador PID (ver figura 3.9) con una función de transferencia como la formulada en la ecuación 12, estos elementos dependerán ahora también de las ganancias K_p , K_i y K_d . De tal manera que si la función de transferencia de un sistema es conocida, al definir los valores apropiados de las ganancias K_p , K_i y K_d , es posible encontrar los valores de ω_n y ξ que permitan alcanzar cualquier índice de desempeño deseado, es decir cualquier especificación para un controlador.

Al proceso de estimación de las ganancias de un controlador PID de acuerdo a las especificaciones de desempeño del sistema que se tenga se le conoce como “Sintonización”.



2.2.1 CONTROLADOR *PIC-SERVO*

La tarjeta de control que utiliza el prototipo es PIC-SERVO SC, la cual es un sistema completo de control para servomecanismos con las siguientes características:

- Incorpora un microcontrolador PIC18F2331 para el control de motores de corriente directa con encoder incremental que incluye perfiles trapezoidales, perfiles de velocidad y soporte para movimientos coordinados de múltiples ejes.

- Cuenta con un amplificador puente H LMD18200 capaz de manejar 3 A continuamente. Construido con protección térmica, de sobrecorriente y de mínima tensión.

- Protección para sobrecorriente y sobrevoltaje.

- Su interfaz RS485 permite que hasta 32 PIC-SERVO sean controladas desde un único puerto serial.

- Incluye dos entradas para interruptores de fin de carrera para protección de sobrecarrera.

- Es pequeña lo que permite montarla cerca de los motores reduciendo ruido y simplificando el cableado.

- Incluye interfaz de prueba y software de sintonización de ganancias PID.

En la figura 2.7 se presenta el diagrama eléctrico para la conexión de la tarjeta PIC-SERVO SC.

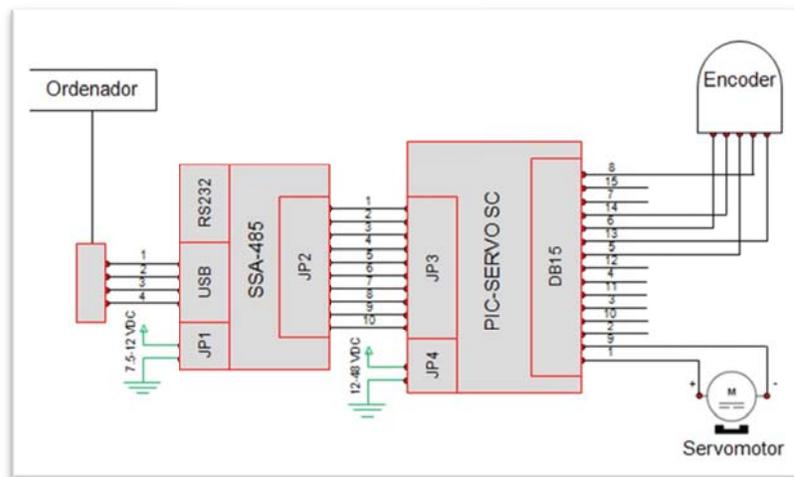


Figura 2.7 Diagrama de conexión de la tarjeta PIC-SERVO

La comunicación entre la tarjeta PIC-SERVO SC y la computadora es a través del dispositivo SSA-485 (Smart Serial Adapter), el cual es un convertidor de USB/RS232 a RS485, lo que significa que este dispositivo puede convertir a RS485 una entrada USB o bien RS232. En la figura 4.10 se evidencia que el convertidor fue configurado para trabajar con entradas bajo el protocolo USB. En la tabla 2.2 se muestra la definición de cada uno de los pines para el puerto USB.

Tabla 2.2 Configuración de pines para el puerto USB del convertidor SSA-485

Pin	Definición
1	5 vdc
2	-Data
3	+Data
4	Tierra

El convertidor SSA-485 y la PIC-SERVO SC se comunican por medio del protocolo RS485 al conectar “JP2” con “JP3” (ver figura 2.8). La configuración de pines se presenta a continuación.



Tabla 2.3 Configuración de pines para la comunicación RS485 entre el convertidos SSA-485 y la tarjeta PIC-SERVO SC

Pin	Definición
1	PIC-SERVO RCV+
2	PIC-SERVO RCV-
3	PIC-SERVO XMT+
4	PIC-SERVO XMT-
5	No utilizado
6	Tierra
7	Voltaje lógico(7.5-12VCD)
8	Tierra
9	Voltaje Lógico (7.5-12VCD)
10	Tierra

La tarjeta de control PIC-SERVO SC se comunica con el actuador y el sensor de posición del prototipo a través de un conector DB15 (ver figura 2.8) cuya configuración se presenta en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Configuración de pines para el conector DB15 de la tarjeta PIC-SERVO SC

Pin	Definición
1	Salida a motor (M+)
2	Salida a motor (M+)
3	No utilizado
4	No utilizado
5	Encoder canal A
6	Encoder canal B
7	No utilizado
8	Encoder Index
9	Salida motor (M-)
10	Salida motor (M-)
11	Tierra



12	Tierra
13	Tierra(encoder)
14	+5v(encoder)
15	Tierra

Durante todo el proceso de operación del controlador se debe alimentar el convertidor SSA-485 en JP1 con una fuente de poder lógica, este voltaje debe estar en el orden de 7.5-12 VCD. Además se debe alimentar la tarjeta PIC-SERVO SC en JP4 con una fuente de poder para el motor, este voltaje puede estar en el orden de 12-48 VCD, sin embargo, se alimentó con 24 VDC pues es el voltaje nominal del motor MAXON 118778. Tanto la fuente de poder lógica como la fuente de poder para el motor son módulos independientes.

En lo que respecta al cableado el controlador únicamente necesita:

- Cable para la conexión USB entre la computadora y el convertidor SSA-485.
- Cable plano para 10 pines con socket IDC estándar en los dos extremos. Intercomunica el convertidor SSA-485 y la tarjeta PIC-SERVO SC.
- Cable con conector DB15 (Motor-encoder). Se conecta a la tarjeta PIC-SERVO SC para llevar la señal de control hacia el motor y captar la retroalimentación en posición angular del encoder.

Para mayor información acerca de las especificaciones y conexión de la tarjeta PIC-SERVO SC y el convertidor SSA-485 se puede consultar (Kerr, 2005) y (Kerr, SSA-Smart Serial Adapter, 2005) respectivamente, los cuales pueden ser descargados de la página web del fabricante.



3. CARACTERIZACION DE MOVIMIENTO

El estudio de los movimientos del cuerpo humano es un tema que compete tanto a médicos como a tecnólogos; a lo largo de la historia se han desarrollado múltiples estudios utilizando diferentes métodos. Desde la utilización de plantillas, goniómetros digitales y analógicos, dispositivos externos y análisis de imágenes.

El análisis anatómico del cuello nos dice que en el caso de los seres humanos es un sistema muscular y estructural muy complejo con más de 20 músculos y 10 huesos. El cuello está constituido por 7 vertebras y el atlas que brinda soporte al cráneo, estas vertebras pueden ser modeladas como resortes que le dan la capacidad de flexionar y elevar al cráneo, mientras que el atlas le permite el movimiento de rotación así como incrementar el rango de movimiento en cuanto a flexión se refiere.

Todo el movimiento lo llevan a cabo un complejo arreglo de músculos que envuelven el arreglo de huesos desde diferentes direcciones, el estudio del modelo cinemático del cuello a sido objeto de estudios biomecánicos para el análisis de daños causados por impactos, accidentes durante el ejercicio, etc. El modelo más aceptado presenta que el cuello humano tiene 4 grados de libertad. (Biera, y otros, 2006)

Sin embargo el análisis más simple de dicho movimiento nos refleja que con solo tres grados de libertad es posible homologar el movimiento del cuello humano, resumiendo dicho movimiento como se muestra en la Figura 3.1.

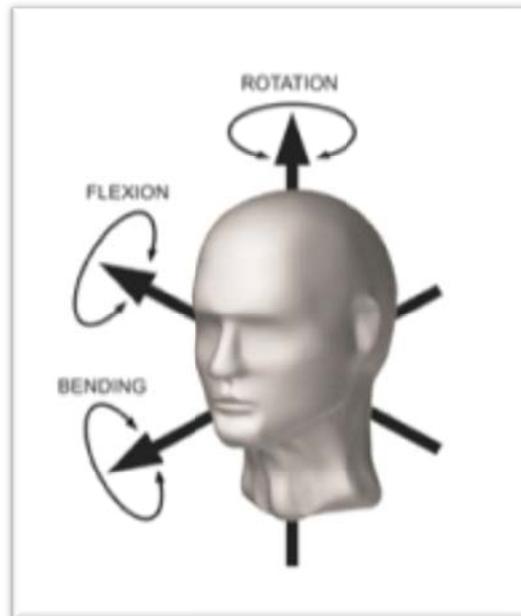


Figura 3.1 Descripción de movimiento

Para la correcta medición de estos movimientos, se clasifican de la siguiente forma:

1. Rotación: Giro de la cabeza teniendo la columna vertebral como eje de giro.
2. Inclinación: Giro de la cabeza donde la oreja se traslada de su posición con dirección a los hombros.
3. Elevación: Giro de la cabeza donde el mentón se desplaza angularmente.

3.1 EXPERIMENTO PREVIO

Con la finalidad de conocer los parámetros de movimiento de una cabeza humana se realizó un experimento en el cual se colocaron a un ser humano y se le pidió que moviera la cabeza en direcciones establecidas para conocer en primer lugar la amplitud de movimiento y después con la toma continua de mediciones en el tiempo, conocer la velocidad y la aceleración. El experimento se realizó en el laboratorio de movimiento de ISIR, UPMC.

3.2 INSTRUMENTACION

Se instalaron 9 marcadores en un ser humano con la finalidad de conocer los perfiles de movimiento de su cabeza. Los marcadores fueron ubicados en las siguientes posiciones:

S1: Torso Frontal, S2: Hombro Izquierdo, S3: Torso Posterior S4: Hombro Derecho, S5: Mentón, S6: Oreja Izquierda S7: Oreja Derecha S8: Cabeza Superior S9: Cabeza Posterior. De acuerdo a como se muestra en la Figura 3.2.

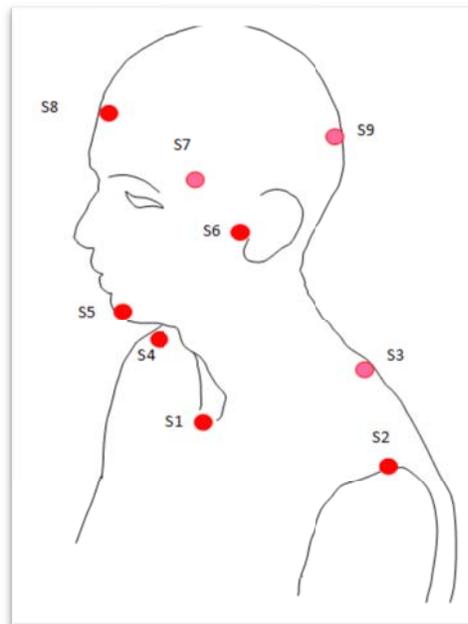


Figura 3.2 Localización de los marcadores

Aunque solo se quiere determinar los perfiles de movimiento de la cabeza, se instrumentó también el torso con la finalidad de observar que tanto afecta al posicionamiento de la cabeza el movimiento involuntario del torso. Los sensores tienen una resolución de 0.05 mm. Para adquirir los datos que provienen del experimento se utilizó el sistema CODAMOTION como el de la Figura 3.3.



Figura 3.3 CODAMOTION

El sistema de medición CODAMOTION usa pequeños marcadores infrarrojos (Figura 3.4), cada uno cuenta con su propio indicador para poder grabar la posición de cualquier objeto.



Figura 3.4 Marcador

Como ya se mencionó cada uno de los marcadores tienen su propio sistema de identificación, para evitar errores en la medición. La información adquirida desde este tipo de marcadores no necesita ser filtrada por lo que se puede utilizar en tiempo real para algún tratamiento matemático o bien para desplegarla en pantalla.



La señal de cada uno de estos marcadores es sensada por un arreglo de tres unidades CODA que dan una medición inmediata y precisa en tres dimensiones.

El sistema CODA es una unidad independiente capaz de grabar la posición tridimensional de cada marcador en tiempo real, lo cual lo hace mucho más preciso que un arreglo de múltiples cámaras. Cada sistema esta pre calibrado por lo que no se tiene la necesidad de calibrar el sistema jamás.

Cabe mencionar que el sistema CODAMOTION cuenta con su propio software de adquisición de datos. El software está diseñado desde cero enfocado al usuario, fue construido con la finalidad de aprovechar al máximo las características de sistema CODA y sus marcadores, así mismo para brindar la flexibilidad necesaria para integrar los datos adquiridos con sistemas de soporte adicional.

Con el software de CODAMOTION (Figura 3.5) cada uno de los marcadores son identificados por el hardware, haciendo que la adquisición de datos sea extremadamente sencilla. De forma tal que se puede escoger desde la interface grafica que sensores son los que se quieren leer.

El software despliega en pantalla en tiempo real la posición de cada uno de los marcadores, para poder corregir cualquier error de posición que se pudiera presentar antes de la medición.

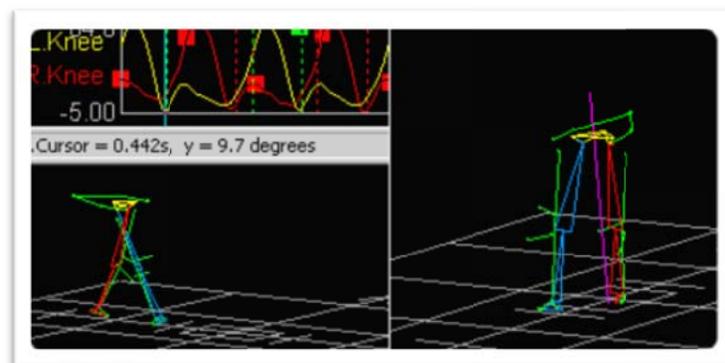


Figura 3.5 Software

3.3 EXPERIMENTO

Una vez colocados los sensores en el sujeto de pruebas se le pide que realice los movimientos básicos del cuello. El experimento se lleva a cabo en dos etapas divididas en tres secciones una por cada uno de los movimientos, en cada sección se le pide al sujeto de pruebas que realice varios ciclos de movimiento como se muestra en la Figura 3.6.

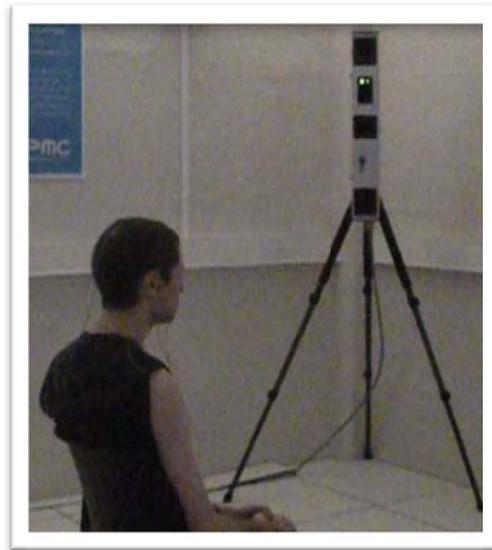


Figura 3.6 Experimento

- **PRIMER ETAPA**

En esta etapa se le pide al sujeto de pruebas que realice tres ciclos completos a una velocidad constante, esto se lleva a cabo para cada uno de los tres movimientos.

Se obtuvieron tres documentos de texto con la información de cada uno de los marcadores, el experimento duró para cada uno de los movimientos un tiempo de 30 segundos. Este documento presenta 27 columnas, donde cada una presenta 6000 renglones con las coordenadas en X, Y y Z de cada uno de los 9 marcadores.



Con esta información se puede visualizar de manera clara cada uno de los movimientos, sin duda el más representativos es el de rotación.

- **SEGUNDA ETAPA**

En esta etapa se le pide al sujeto de pruebas que realice tres ciclos completos de movimiento a tres velocidades diferentes: lenta, normal y rápida. Con la finalidad de conocer los perfiles de velocidad y aceleración.

Se obtuvieron tres documentos de texto con la información de cada uno de los marcadores, el experimento duró para cada uno de los movimientos un tiempo de 20 segundos. Este documento presenta 27 columnas, donde cada una presenta 4000 renglones con las coordenadas en X, Y y Z de cada uno de los 9 marcadores.

3.4 ANALISIS DE GRAFICAS DE MOVIMIENTO

Como resultado del experimento realizado en ISIR se obtienen archivos que nos muestran el cambio de posición en función del tiempo de cada uno de los sensores en cada prueba. Como ya se mencionó anteriormente esta información nos permite conocer los parámetros cinemáticos del movimiento de la cabeza.

Para poder conocer los parámetros geométricos y los perfiles de velocidad y aceleración es necesario extraer dicha información de las figuras resultantes de graficar el cambio de posición de cada sensor con respecto del tiempo. Para el análisis de estas gráficas es necesario determinar qué sensor es el que nos brinda la información más detallada. De la información obtenida, se extrajeron la amplitud de movimiento y los radios de giro para cada uno de los movimientos. En el caso de la rotación podemos observar que tiene un rango de movimiento de 134.721 grados, como se muestra en la Figura 3.7.

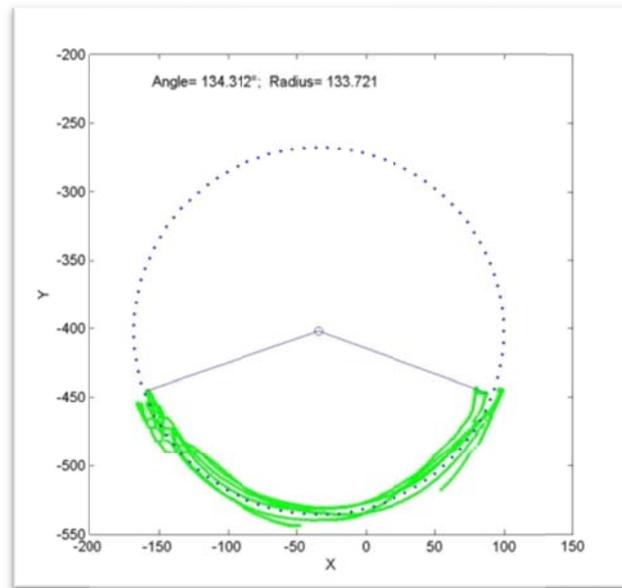


Figura 3.7 Rotación

En el caso de la flexión se puede observar que tiene una amplitud de movimiento de 86.3 grados, como se muestra en la Figura 3.8.

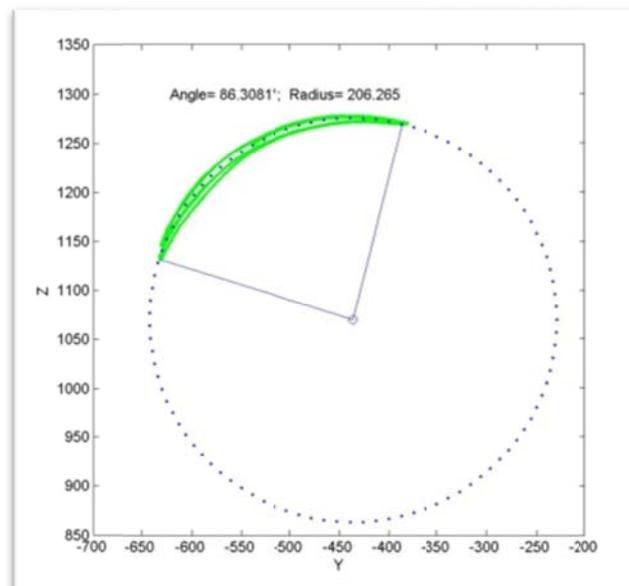


Figura 3.8 Flexión

Mientras que para la inclinación encontramos una amplitud de movimiento de 46.95 grados como se observa en la Figura 3.9.

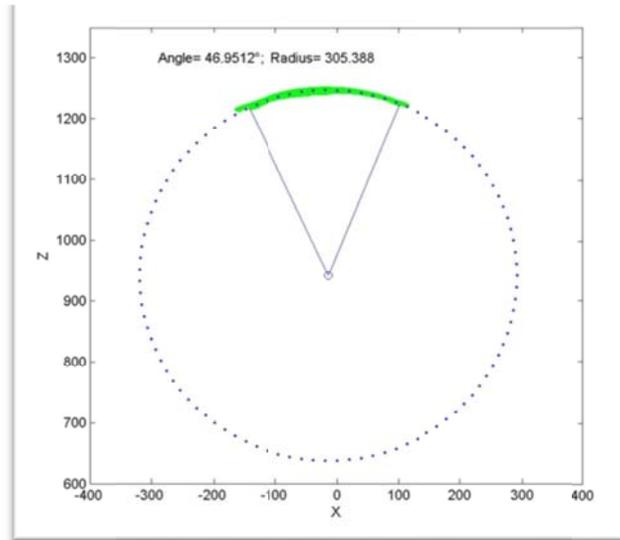


Figura 3.9 Inclinación

3.5 CARACTERISTICAS DE MOVIMIENTO

La espina cervical provee a la cabeza de una amplio rango de movimientos, cinemáticamente el conjunto cabeza cuello consiste en 8 articulaciones de una geometría compleja, por lo que en muchos casos la movilidad del cuello se analiza como el movimiento individual de cada uno de los eslabones que lo componen con lo que se logra determinar que el cuello humano tiene tres principales movimientos:

- Rotación axial
- Inclinación lateral
- Flexión y extensión



Esta capacidad de movimiento se debe principalmente al espacio intervertebral que existe en las vertebrae del cuello, por lo que la determinación de la amplitud de movimiento esta intrínsecamente relacionada con las aptitudes físicas del individuo sin embargo se puede determinar de manera teórica que los rangos de movimiento son:

- Rotación axial: 180° combinando los giros a la izquierda y la derecha.
- Inclinación lateral: 90°
- Flexión y extensión: 145° en donde el principal obstáculo al movimiento es el conjunto de huesos de pecho.

Sin duda la articulación más importante en el movimiento del cuello es el denominado atlas, que por regla general genera los primeros 8° grados de movimiento en cualquier dirección, es en el atlas donde se unen la cabeza y el cuello. Para el caso de la rotación axial el atlas es el encargado de brindar el 50% de la movilidad.

Cuando el estudio de la movilidad del cuello es estudiada tomando en consideración que el cuello es un arco con un centro instantáneo de rotación entre la vertebra 3 y 6 se puede considerar que el cuello tiene en realidad 4 grados de libertad, considerando las tres rotaciones principales antes mencionadas y un movimiento translacional de sobre el mismo eje del movimiento. [18]

3.6 PARAMETROS GEOMETRICOS

El sujeto de pruebas como cualquier ser humano normal, complementó cada rotación de su cabeza con cierta rotación del torso, lo que incrementa el rango de movimiento y afecta los perfiles de velocidad y aceleración.



Pequeños titubeos en el movimiento genera ruido en las gráficas por lo que la obtención de perfiles de velocidad y aceleración no son del todo claros y repetibles. Aún así, existen numerosas alternativas para la determinación de dichos datos.

Sodhi [2] realiza un estudio comparativo donde se establecen diferentes métodos de medición y sus resultados. En estos estudios se realizan pruebas tanto a hombres como a mujeres de diferentes edades, lo cual ofrece una mayor claridad estadística del rango de movimiento. Así los datos obtenidos se muestran en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1 Amplitud de movimiento

Movimiento	Angulo
Rotación	168°
Inclinación	118°
Elevación	110°

Una de los objetivos de este proyecto es poder generar un robot que tenga forma y condiciones de movimiento muy similares a los humanos por lo cual se estudió previamente al desarrollo de este proyecto el movimiento de la cabeza del ser humano.

Determinar de manera cerrada las dimensiones generales del cuerpo del ser humano así como sus perfiles de movimiento es una tarea muy compleja debido a la gran diversidad de seres a estudiar, por lo que se puede acotarse el problema como se hizo en este caso. El movimiento y dimensiones fueron establecidos en un varón de entre 20 y 30 años de edad lo cual asegura condiciones geométricas y de movimiento relativamente saludables constantes.



Para cumplir con la finalidad de que sea un mecanismo antropomórfico se deben establecer las dimensiones tanto de la cabeza como del cuello para poder cumplir con dicho requerimiento. En el caso de la cabeza, se trata de un dummy de pruebas *Newman Ku 100* de aproximadamente 3.5 Kg de peso, considerando que su centro de masa es colineal con el centro de giro. En este caso la cabeza está dotada de un par de micrófonos estereofónicos además de que está construida con materiales con características acústicas de alta sensibilidad similares a las de la cabeza de un ser humano regular.

En el caso particular del cuello debido a la geometría misma de la cabeza de pruebas solo se delimitará al área de la base del mismo. Las tallas del cuello humano varían de acuerdo a la raza del mismo por lo que considerando un promedio de los máximos entre latinos (47 cm) y europeos (65 cm), la talla del cuello a diseñar deberá ser aproximadamente de 56 cm. Ahora bien esto corresponde al perímetro del cuello que en condiciones óptimas consideraremos que es un círculo con lo cual podemos obtener el diámetro del mismo mediante la fórmula del perímetro de un círculo obteniendo que el diámetro de la base del mecanismo será de 178 mm aproximadamente.

3.7 PERFILES DE VELOCIDAD Y ACELERACION

Es posible utilizar solo 5 de los 9 marcadores para determinar los perfiles, y considerando que la velocidad y el desplazamiento es el mismo en todos los puntos de la cabeza, solo se tomara uno de los más representativos, en el caso del giro, será el de la oreja derecha, de igual manera dado que nos importa solo el desplazamiento en dos planos, tomaremos las coordenadas útiles, en el caso de la rotación, solo se tomaran los datos de las columnas X y Y como se muestra en la Figura 3.10.

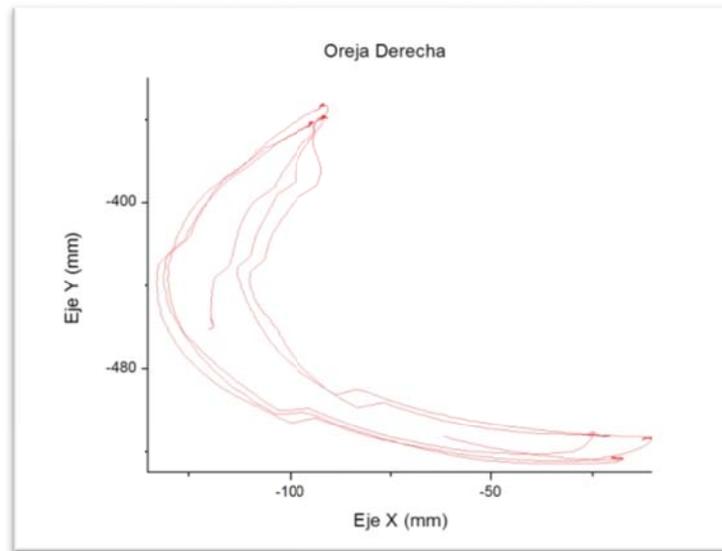


Figura 3.10 Oreja derecha

Una vez delimitado el problema debemos ordenar los datos de forma tal que podamos manipularlos de manera adecuada.

Dado que lo que buscamos es la ecuación que describa el movimiento en el tiempo, debemos conocer la norma de cada uno de los puntos, para poder después ponerla en función del tiempo.

Esto se logra mediante el siguiente código:

```
X=p(:,1); Y=p(:,2);  
  
s=size(p); s=s(1,1);  
  
for q=1:1:s; N(q,1)= sqrt ( X(q,1)^2+ Y(q,1)^2 );  
  
end
```

El tiempo de muestreo del CODAMOTION fue cada 0.005 segundos, ahora bien la grafica del movimiento en función del tiempo se muestra en la Figura 3.11.

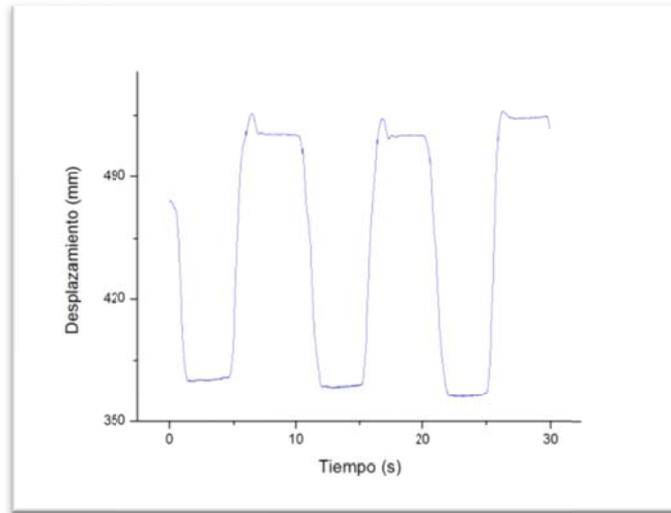


Figura 3.11 Norma

Para poder obtener una ecuación que describa el movimiento, primero debe aislarse un ciclo, esto se logra mediante el cálculo de la pendiente, es decir cuando la pendiente cambia de signo, quiere decir que se ha completado un ciclo, de esta forma se ve expresado en la Figura 3.12 el primer ciclo completo.

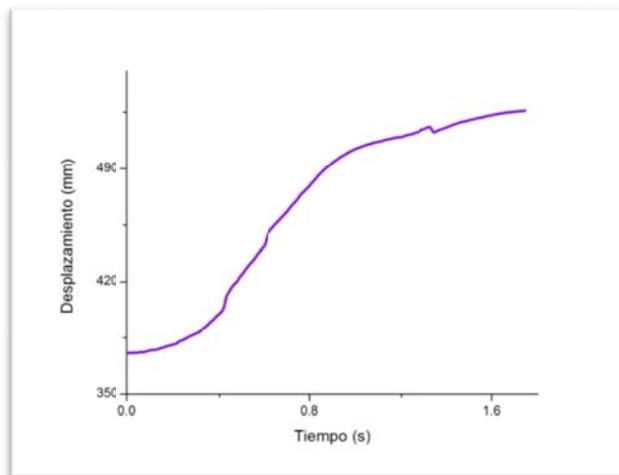


Figura 3.12 Primer ciclo

Con la finalidad de poder obtener la mejor calidad de datos de la gráfica original, los valores de la norma y del tiempo que construyeron la Figura 3 se someten a un ajuste de curva mediante el comando polyfit de Matlab.



Mediante ese comando se obtienen los coeficientes que necesarios para generar un polinomio, dichos coeficientes son los siguientes:

-43.637

340.04

-871.17

861.68

-169.13

383.19

Ahora bien, mediante el comando polyval y los coeficientes anteriores se puede generar una nueva serie de puntos que ajustan a la curva, de esta forma se obtiene una mejor representación de la curva como se muestra en la Figura 3.13.

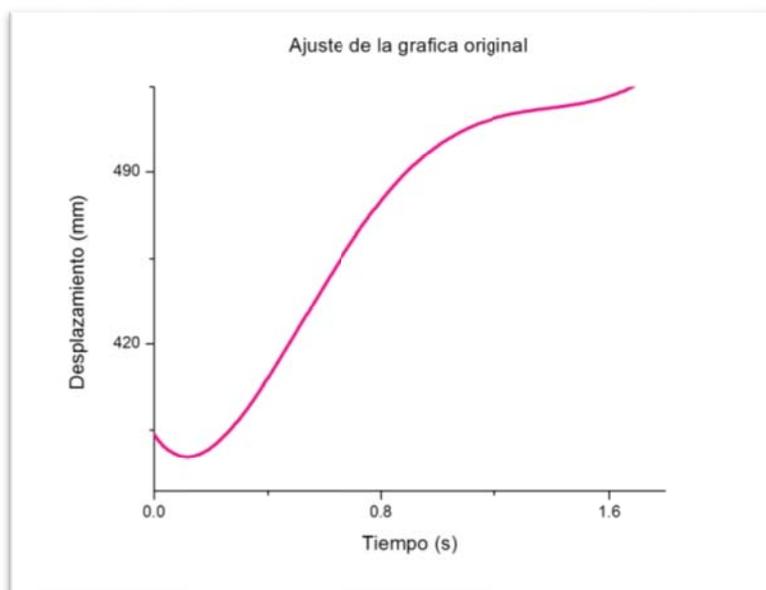


Figura 3.13 Ajuste

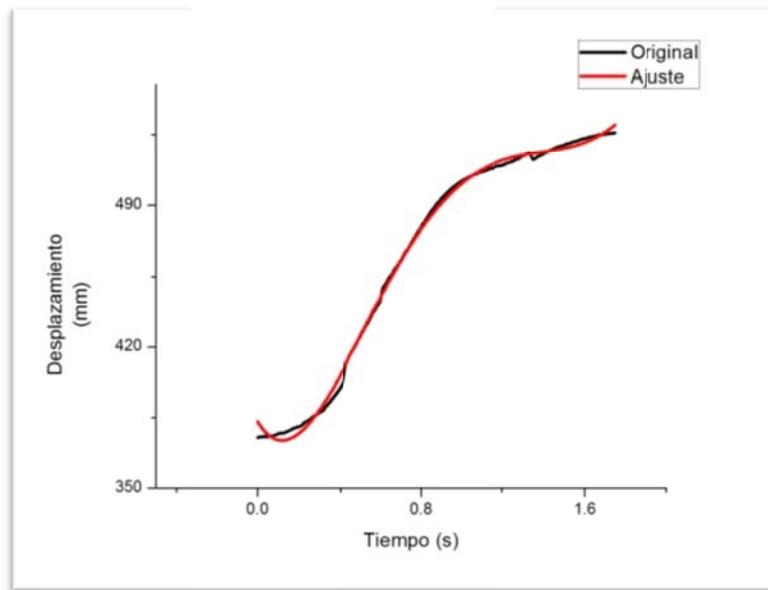


Figura 3.14 Comparación

De esta forma la ecuación que describe el movimiento es:

$$X = -43.637x^5 + 340.04x^4 - 871.17x^3 + 861.68x^2 - 169.13x + 383.19$$

Con esta ecuación y con la ayuda de ciertos métodos numéricos podemos obtener las curvas de velocidad y aceleración.

Como se tiene que obtener la primera y segunda derivada se utilizara el DERIVEST suit. Más concretamente el algoritmo Gradest. Lo cual se logra mediante el siguiente algoritmo:

```
st=size(t); st=st(1,1);  
  
for i=1:1:st  
  
    v=t(i,1);  
  
    [deriv,err] = gradest(@(x) (-43.637*x^5)+(340.04*x^4)+(-  
871.17*x^3)+(861.68*x^2)+(-169.13*x)+(383.19),v);  
  
    res(i,1)=deriv;  
  
end
```

Como resultado de dicho procedimiento se obtiene la curva de la velocidad de la Figura 3.15.

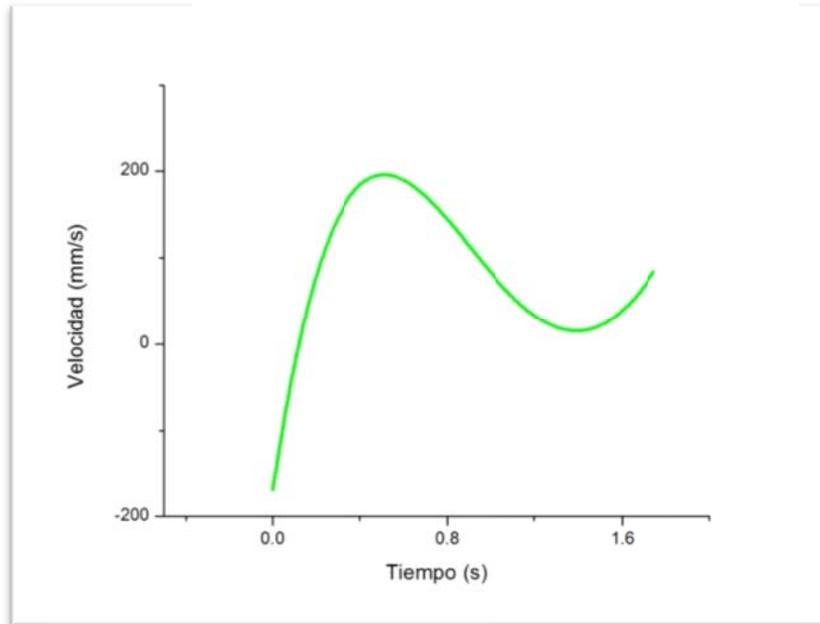


Figura 3.15 Velocidad

Con lo que obtenemos que la velocidad máxima que tiene que alcanzar el dispositivo es de 195.175 mm/s. Ahora bien mediante el comando diff de Matlab se puede lograr la segunda derivada del desplazamiento a partir de los datos obtenidos desde el DERIVEST suit. Con lo anterior obtenemos los datos suficientes para poder visualizar el comportamiento de la aceleración en la Figura 3.16.

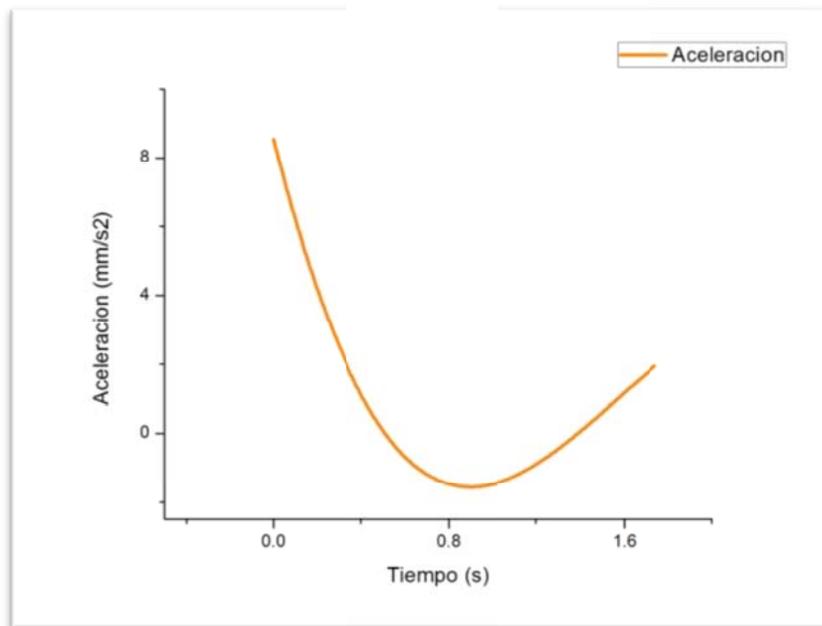


Figura 3.15 Aceleración

De esta grafica podemos concluir que el valor máximo de aceleración que se debe de alcanzar es de 8.55 mm/s².



4. DISEÑO MECANICO

Para encontrar la mejor respuesta a las necesidades del usuario es sumamente importante seguir la morfología del diseño, el cual dicta que se debe hacer un diseño conceptual y un diseño a detalle del producto final.

El orden y correcto desarrollo de estas dos etapas aseguran un producto que satisface las necesidades del usuario de la forma más óptima.

4.1 DISEÑO CONCEPTUAL

Con la finalidad de dar la mejor respuesta posible a los requerimientos del usuario se ocupara la metodología del QFD (Quality Function Deployment), la cual es un sistema que busca centrar el diseño de productos y servicios en dar respuesta a las necesidades de los usuarios (Garcia Rojas, Lechuga Castro, & Valencia Argüello, 2010).

En medida que se satisfagan los requerimientos en la fase del diseño conceptual, el impacto del producto final será mucho mayor. En esta etapa se identifican las funciones que debe realizar el producto de tal forma que respondan a las expectativas del usuario, para después convertirlos en un modelo funcional.

Una vez identificadas dichas funciones se generan los conceptos de diseño, donde una correcta evaluación de las ideas generadas nos darán un producto que satisface de manera eficiente las necesidades del usuario.



Para poder llevar acabo esta etapa del diseño, se deben seguir los siguiente pasos:

- Reunir las necesidades del usuario relacionados con el producto ¿Qué requerimientos?
- Jerarquizar los requerimientos del usuario de acuerdo a su importancia relativa.
- Estudio comparativo del producto con productos similares.
- Traducción de los requerimientos en términos mensurables de ingeniería.
- Establecer metas de diseño.

4.2 REQUERIMIENTOS DEL USUARIO

OBLIGATORIOS

- Brindar rotación pura.
- Que solo exista un punto de rotación en común.
- Que sea lo suficientemente rígido.
- Que sea un sistema abierto y adaptable.
- Que sus articulaciones sean de rotación.
- Que sea paralelo.
- Que presente la cadena cinemática más simple posible.



DESEABLES

- Que cumpla con características antropomórficas.
- Que sea ligero.
- Que sea de fácil ensamble.

Tabla 4.1 Identificación de requerimientos

	IDENTIFICACION	REQUERIMIENTO
Que	A1	Brinde rotación pura
	B1	Solo exista un punto de rotación en común
	C1	Sea lo suficientemente rígido
	D1	Sea de fácil ensamble
	E1	Sea adaptable
	F1	Sus articulaciones sean de rotación
	G1	Sea paralelo
	H1	Presente la cadena cinemática más simple posible
	I1	Tenga el mismo rango de movimiento que el cuello humano
	J1	Sea capaz de alcanzar los mismos perfiles de velocidad y aceleración que el cuello humano
	K1	Sea ligero
	L1	Se pueda controlar su movimiento
	M1	Sea silencioso



Tabla 4.2 Ponderación de requerimientos

	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1	I1	J1	K1	L1	M1	SUM A	%	IMPORTANCIA
A1	X	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	11	14.1025641	2
B1	0	X	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	10	12.8205128	3
C1	0	0	X	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	9	11.5384615	4
D1	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	2.56410256	9
E1	0	0	0	1	X	0	0	0	0	1	1	0	1	4	5.12820513	8
F1	0	0	0	1	1	X	1	1	0	1	1	0	1	7	8.97435897	6
G1	0	0	0	1	1	0	X	0	0	0	1	0	1	4	5.12820513	8
H1	0	0	0	1	1	0	1	X	0	0	1	0	1	5	6.41025641	7
I1	1	1	1	1	1	1	1	1	X	1	1	1	1	12	15.3846154	1
J1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	X	1	0	1	5	6.41025641	7
K1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	11
L1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	X	1	8	10.2564103	5
M1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	X	1	1.28205128	10
														78	100	



Tabla 4.3 Ponderación de soluciones

REF	V.REL.	Agile eye	Rehman	Spam	Pan-tilt	Adelstein
I1	0.15384615	-	+	-	+	-
A1	0.14102564	+	+	+	-	+
B1	0.12820513	+	+	+	-	+
C1	0.11538462	+	+	+	+	-
L1	0.1025641	+	+	+	+	+
F1	0.08974359	+	+	+	+	+
H1	0.06410256	-	+	+	-	+
J1	0.06410256	+	+	+	+	-
E1	0.05128205	-	+	-	+	+
G1	0.05128205	+	-	+	-	+
D1	0.02564103	-	+	-	+	+
M1	0.01282051	+	+	+	+	+
K1	0	+	+	+	+	+
	1	0.70512	0.94871	0.76923	0.61538	0.66666

4.3 RESULTADO DE DISEÑO CONCEPTUAL

Habiendo explorado el mundo de los robots paralelos y conociendo los problemas que estos conllevan de diseño, rigidez, control, etc. Y analizando los resultados del método QFD resulta que una junta cardan, como la que se muestra en la Figura 4.1, que al ser actuada y teniendo cuidado de alinear correctamente sus ejes resulta resolver de manera simple y efectiva el todos los problemas antes mencionados [UR-REHMAN, R. 2009].

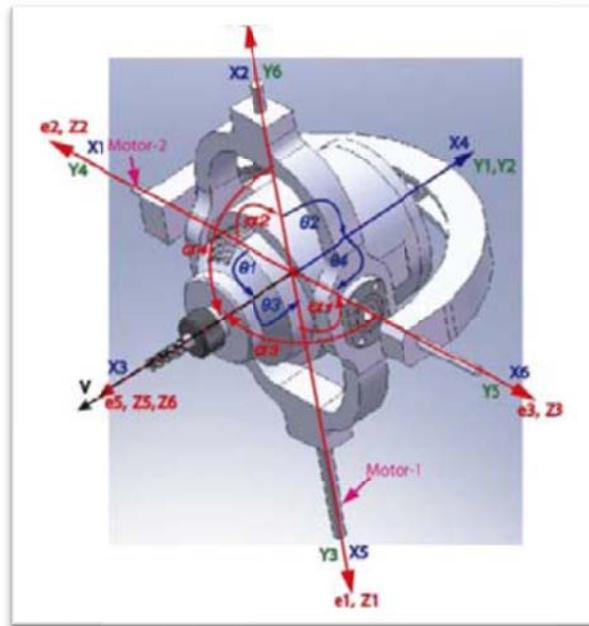


Figura 4.1 [UR-REHMAN, R. 2009]

Una vez encontrado el mecanismo que mejor cumple con los requerimientos, es necesario traducir dichos requerimientos a parámetros mensurables en la ingeniería, para poder dar paso al diseño a detalle, dicha traducción se muestra en la Tabla 4.4.



Tabla 4.4 Traducción de requerimientos en parámetros mensurables

REQUERIMIENTOS	TRADUCCION		
Tenga el mismo rango de movimiento que el cuello humano	Rotación	Inclinación	Elevación
	134°	46°	86°
Brinde rotación pura	3 Grados de libertad, sin ninguna translación		
Solo exista un punto de rotación en común	Que el centro instantáneo de rotación sea el mismo		
Sea lo suficientemente rígido	Que soporte una carga de 5Kg		
Se pueda controlar su movimiento	Que se puedan acoplar motores instrumentados		
Sus articulaciones sean de rotación	Cualquier otro tipo de articulación conlleva errores de juego mecánico		
Presente la cadena cinemática mas simple posible	Menor cantidad de eslabones entre la entrada y la salida de movimiento		
Sea capaz de alcanzar los mismos perfiles de velocidad y aceleración que el cuello humano	Velocidad	Aceleración	
	195 mm/s	8.55 mm/s ²	
Sea adaptable	Que se puedan acoplar distintos efectores finales		
Sea paralelo	Que el trabajo de los motores sea utilizado solo para impulsar a la cadena cinemática y no a los otros motores		
Sea de fácil ensamble	Menor cantidad de piezas con ensambles accesibles		
Sea silencioso	Que no genere mucho ruido en su operación		
Sea ligero	Que pese menos de 10Kg		

4.4 ARTIFICIAL NECK ROBOT (ANR)

Considerando todos los parámetros de diseño el resultado es un mecanismo similar a una junta cardan donde sus tres ejes de giro convergen en un solo punto, como se muestra en la Figura 4.2.

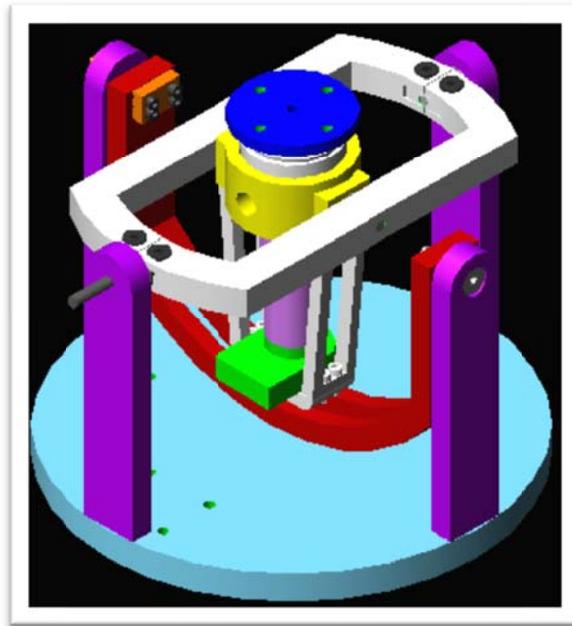


Figura 4.2 Vista general

Se puede observar que el giro se lleva a cabo en la plataforma azul marino, que la estructura blanca, proporcional el impulso para realizar la inclinación como se muestra en la Figura 4.3.

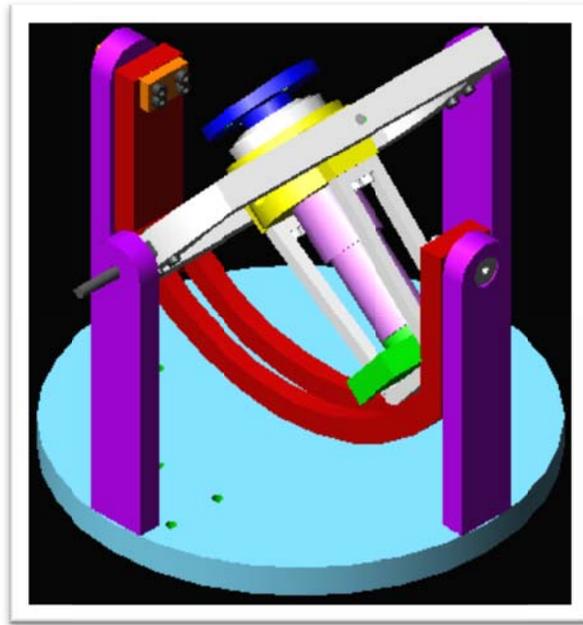


Figura 4.3 Segundo grado de libertad

Así mismo la estructura roja proporciona el impulso para efectuar la inclinación como se muestra en la Figura 4.4.

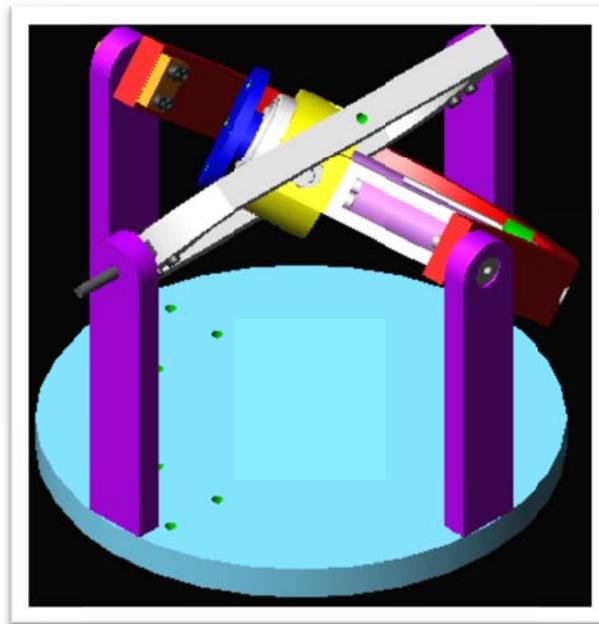


Figura 4.4 Tercer grado de libertad



4.5 CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO

Cumpliendo con la mayoría de los requerimientos de diseño, el mecanismo anterior se construyó en aluminio a excepción de los puntos básicos de rotación que fueron contruidos en acero.

Con lo anterior se construyó el prototipo con las siguientes características:

- Como base de la cabeza se encuentra un rodamiento cónico de manera tal que la carga se descomponga en sus componentes rectangulares, ya que aunque se suponga que la carga es colineal al centro de giro, es muy posible que el centro de masa de la carga no sea precisamente colineal.
- Los ejes de rotación fueron contruidos en acero con un diámetro promedio de 5 mm con lo cual se asegura que sean lo suficientemente robustos para soportar la carga.
- Todo el diseño fue realizado bajo normatividad ISO
- Cada uno de los grados de libertad fue contruido de forma modular, para facilitar el ensamble.
- En la medida de lo posible fue fabricado contemplando perfiles comerciales
- Con la finalidad de cumplir con las condiciones antropomórficas, los motores se desplazaron a la base del mismo, haciendo necesaria una transmisión flexible, en este caso se utilizaron bandas dentadas, para garantizar la transmisión correcta de movimiento.



4.6 MEJORA DEL DISEÑO MECANICO

Después de una primera evaluación del prototipo con la finalidad de integrar en el diseño original las adaptaciones realizadas durante la etapa experimental fueron las siguientes:

- Debido a que el sistema original de transmisión de potencia fue insuficiente se adaptaron resortes con la finalidad de poder contrarrestar los efectos inerciales durante el movimiento de la cabeza, por lo que se realizaron pequeñas modificaciones en las piezas que componen el mecanismo sin afectar su forma ni su desempeño individual.
- Siguiendo la evolución del prototipo se retiraron los resortes antes mencionados para dar lugar a un sistema de transmisión por bandas dentadas mucho más robusto que permite controlar dichos efectos inerciales, cabe mencionar que estos efectos inerciales fueron considerados en el diseño original, sin embargo las limitantes tecnológicas en el momento de la fabricación del prototipo impidieron que este tuviera las capacidades deseadas.
- Con respecto al primer grado de libertad del prototipo, las adaptaciones mecánicas establecidas sobre el diseño original fue la implementación de un resorte conectado al acoplamiento NECK-DUMMY (Figura 4.4) el cual tiene la finalidad de reducir el juego mecánico que existe en dicho eje, cabe mencionar que el juego mecánico se debe fundamentalmente a la calidad del reductor acoplado al motor que brinda movilidad a esta sección del mecanismo.

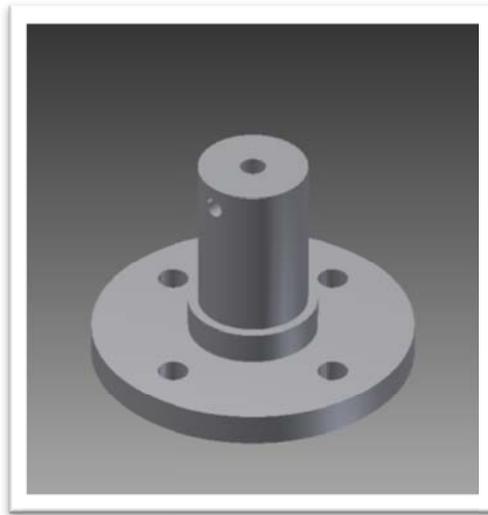


Figura 4.5 Cople NECK-DUMMY

- Con respecto a las articulaciones 2 y 3 (Figura 4.6) se cambió el montaje de los sensores de posición(encoders), originalmente, estos estaban montados en los motores que brindan movilidad a cada eje respectivamente, sin embargo fueron cambiados a los pilares de soporte para poder sensar la posición final de la articulación y no el cambio de posición del motor como estaba originalmente planeado.

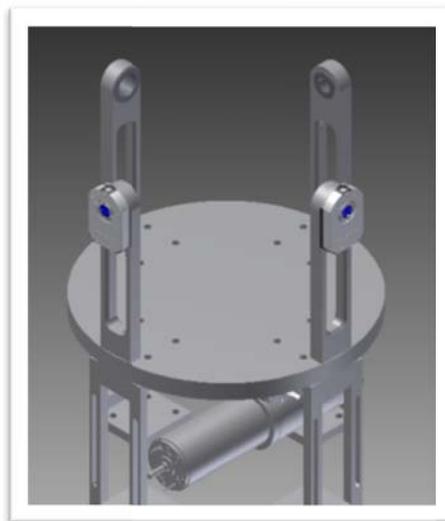


Figura 4.6 Nueva posición de los encoders



- Para poder lograr un montaje adecuado los pilares de soporte fueron modificados (Figura 4.7-b) , dichas modificaciones son:
 - Barrenado con rosca interna para sujeción del sensor.
 - Ampliación del barrenado principal con la finalidad de albergar ejes más robustos y sus respectivos rodamientos, en este caso rodamientos planos marca IGUS en sus modelos GFM-1416-12 y GSM-1215_22 respectivamente.
 - En el diseño original los pilares 1 y 2 (Figura 4.7-a) albergaban un rodamiento sin embargo con el cambio de montaje de los sensores se requería un eje pasado, por lo que los rodamientos fueron remplazados por nuevos ejes que permiten una conexión mecánica entre el dispositivo y los sensores, dichos ejes son de fabricación particular.



Figura 4.7 Pilar modificado

Con la evaluación inicial del sistema mecánico se resaltaron las nuevas necesidades a cubrir por parte del mismo en función de las adaptaciones realizadas. La principal adaptación antes mencionada es el cambio del sistema de transmisión mecánica, con el nuevo sistema mucho más robusto que el original, por lo que fue necesario rediseñar los acoplamientos mecánicos lo cual engloba las siguientes actividades:

- Rediseño de los acoplamientos LINK 2(Figura 4.8) y LINK 3 (Figura 4.9) para brindar mejor soporte a las poleas que transmiten la potencia mecánica desde los motores.



Figura 4.8 LINK 2



Figura 4.9 LINK 3

Adaptación de los pilares de soporte 3 y 4 (Figura 4.10) para poder albergar los nuevos ejes con sus respectivos rodamientos planos GMF-1012-12 y GMF 1618-12 respectivamente, dichos rodamientos además de facilitar el movimiento de los ejes y reducir la fricción entre los componentes ayudan a asegurar el correcto espaciado entre el mecanismo y los pilares de soporte.



Figura 4.10 Modificación Pilares 3 y 4

- Adaptación de la Guía U (Figura 4.11) con la finalidad de lograr un mejor ensamble con el LINK 3(Figura 4.12)

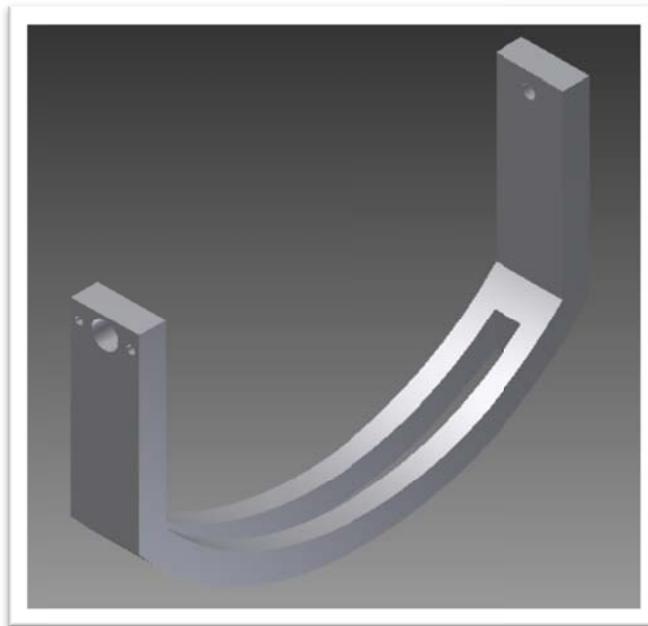


Figura 4.11 Guía U



5. DISEÑO DE CONTROL

El software original del sistema está desarrollado para funcionar sobre un sistema operativo (SO) de Windows y para su funcionamiento las librerías se albergan en un sistema de archivos *.dll el cual es restrictivo de SO's de Microsoft.

Sin embargo el proyecto principal que alberga el desarrollo del sistema posicionamiento angular, tiene como objetivo desarrollar software mucho más flexible, que pueda ser utilizado en SO de Apple o Linux. En base a esto se desarrolló una librería que permitiera poder utilizar las tarjetas PIC-SERVO desde un SO Apple o Linux.

5.1 CARACTERIZACION DEL SISTEMA

Para el control de los servos, la tarjeta *PIC-SERVO* cuenta con un filtro PID el cual para poder tener un rendimiento óptimo del actuador debe sintonizarse. Para lograr una sintonización más apegada a la realidad se montó la cabeza artificial como se muestra en la Figura 5.1.



Figura 5.1 Montaje final



Una vez completo el sistema se fue sintonizando cada una de las ganancias con respecto a las siguientes reglas:

- Incrementar la ganancia proporcional hasta que alcance la respuesta deseada y comience a oscilar. Con la finalidad de controlar la llegada del sistema a la meta deseada en el menor tiempo posible.
- Incrementar la ganancia derivativa hasta lograr reducir la oscilación, sin embargo al lograr esto se incrementa el error.
- Incrementar la ganancia integral para reducir el error en estado estacionario.

Este procedimiento se llevó a cabo con los tres motores que brindan movilidad a la cabeza artificial, llevando cada uno de los motores de un comportamiento lento e impreciso (Figura 5.2) a obtener una respuesta mucho más rápida, controlada y precisa (Figura 5.3).

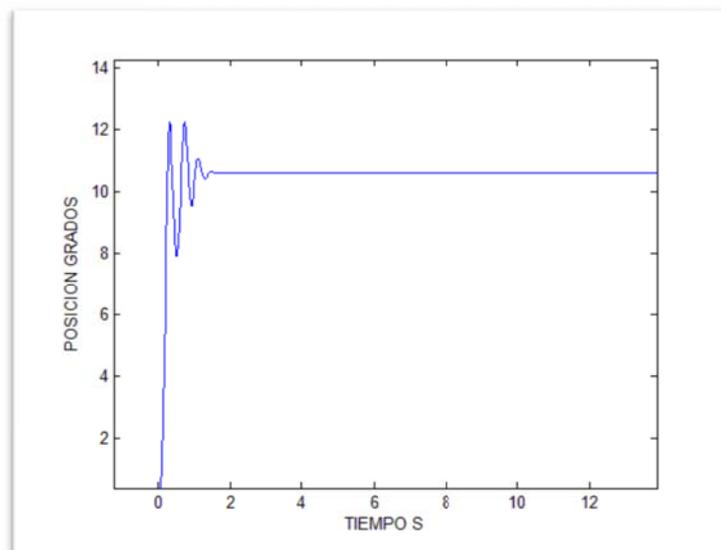


Figura 5.2 Comportamiento del motor 2 con un PID no sintonizado

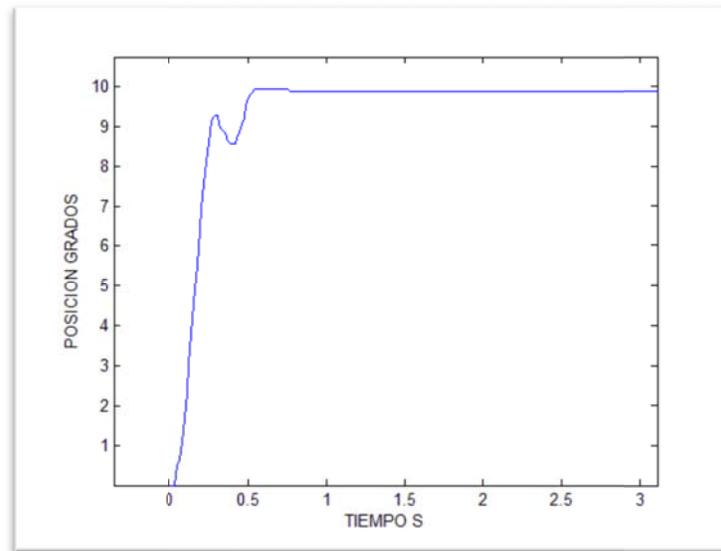


Figura 5.3 Comportamiento del motor 3 con un PID sintonizado

Cabe mencionar que las ganancias obtenidas fueron las expresadas en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Ganancias del controlador PID para ANR

Motor	Kp	Kd	Ki
1	100	1000	50
2	250	32767	75
3	250	32767	75

5.2 ADAPTACION DE SOFTWARE Y CONTROLADOR

Como ya se mencionó el sistema de control seleccionado establece la utilización de software desarrollado por el fabricante, sin embargo para el desarrollo del proyecto fue necesario desarrollar una librería que funcionara en SO's Linux.

El principal reto en el desarrollo de dicha librería fue la comunicación serial, dicho problema fue solucionado utilizando la librería BOOST con la cual se logra la comunicación entre las tarjetas y la computadora.



Una vez desarrollada la librería el trabajo realizado durante esta etapa fue:

- Probar que dicha librería desarrollada sobre un SO de Apple sirviera en un SO de Linux, por lo que se validó sobre UBUNTU 10, para poder realizar dichas pruebas las actividades realizadas fueron:
- Declaración de variables: mientras que sobre MAC OS el sistema reconocía las variables sobre Linux fue necesario declarar adecuadamente ciertas variables.
- Declaración de nuevas funciones:
 - IsMoveDone: Dentro de los datos que StatusBit manda existe un bit específico que indica cuando, cuando el motor llego a la posición encomendada, sin embargo este dato no puede ser utilizado, por lo que IsMoveDone permite conocer este dato y utilizarlo dentro del programa principal para brindar el tiempo necesario, para que el motor pueda alcanzar la posición deseada.

```
bool NmcNetwork::IsMoveDone(uint8_t rAddress)
{
    bool data;
    ReadStatus(rAddress, 0);
    data = mModules[rAddress].move_done;
    return data;
}
```



- SaveAsHome: Declarada dentro de las funciones de PIC-SERVO por el fabricante en su versión para Windows, sin embargo no existía dentro de la librería actual, esta función permite guardar la posición actual como "home" sin que esta se convierta en 0.

```
void NmcNetwork::SaveAsHome(uint8_t rAddress)
{
    int32_t ind = 0;
    int32_t cksum = 0;
    int32_t i;
    uint8_t cstr[MAXCSTRLENGTH];
    cstr[ind++] = 0xAA;           //header
    cstr[ind] = rAddress;
    cksum += cstr[ind++];       //address
    cstr[ind] = SAVE_AS_HOME;
    cksum += cstr[ind++];       //command
    cstr[ind++] = cksum & 0xFF; //checksum
    if (DEBUG)
    {
        std::cout << "[SaveAsHome] sent:\t" <<
std::endl;
        for (i = 0; i < ind; i++)
        {
            std::cout << "0x" << std::setw(2) <<
std::hex << (int32_t)cstr[i] << " ";
        }
        std::cout << std::endl;
    }

    boost::asio::write(mPort,
boost::asio::buffer(cstr, ind));
    GetStatus(rAddress,
mModules[rAddress].StatusBits);
}
```



- GetInfo: Este grupo de funciones permite adquirir información como la velocidad actual y la posición desde los módulos entre otros factores importantes, para poder manipularla dentro del software de control. Para poder tener un manejo más simple de dicha información, se estructuró en diferentes comandos, de acuerdo a lo que el usuario requiera. Dentro de la arquitectura de la librería fue declarada como una familia de funciones, la familia completa es parte de NMCLIB, cabe destacar las más importantes, que en este caso son *GetPosition* y *GetActualVelocity*.

```
int32_t NmcNetwork::GetPosition(uint8_t rAddress)
{
    int32_t data;
    ReadStatus(rAddress, SEND_POS);
    data = mModules[rAddress].position;
    return data;
}

int16_t NmcNetwork::GetActualVelocity(uint8_t
rAddress)
{
    int16_t data;
    ReadStatus(rAddress, SEND_VEL);
    data = mModules[rAddress].ActualVelocity;
    return data;
}
```



- GoHome: Función que nos permite decirle al motor que vaya a la posición conocida como “home”, si este punto no fue manipulado por el usuario, dará la orden de ir a la posición 0, sin embargo si “home” fue asignado por el usuario el modulo ordenara al actuador ir a la posición “home” determinada por el usuario.

```
void NmcNetwork::GoHome(uint8_t rAddress)
{
    int32_t homep = 0;
    ReadStatus(rAddress, SEND_HOME);
    homep = mModules[rAddress].HomePosition;
    LoadTraj(rAddress, (LOAD_POS | ENABLE_SERVO |
START_NOW), homep);
    while (IsMoveDone(rAddress) == 0)
        {
            std::cout << "\n Homing: " <<
std::endl;
        }
    std::cout << "HOME" << std::endl;
    StopMotor(rAddress, MOTOR_OFF);
}
```

- Esta librería es completamente funcional en SO de Apple y Linux.

Uno de los objetivos para el desarrollo del software de control era desarrollar una interface de usuario, de manera tal que la operación del programa fuera mucho más simple, sin embargo conociendo las intenciones propias del usuario final, esto no fue necesario, siendo una aplicación específica, esta puede correrse desde la Terminal de Linux o MacOS.



Linux tiene diferentes distribuciones, estas pueden diferenciarse por el sistema básico de archivos o bien el ambiente gráfico de los mismo, sin embargo todos operan sobre el mismo Kernel. En el caso particular de la aplicación desarrollada fue desarrollada y probada sobre el Kernel versión 2.6, dicha versión está vigente desde el año 2000 y se espera que siga vigente hasta el año 2015, cabe mencionar que si el Kernel evoluciona a su versión 3.0 será necesario verificar la compatibilidad de la librería desarrollada.

Con la última versión del software desarrollada (NMCLib) se realizaron pruebas sobre Linux Ubuntu 10, OpenSuse 11.2 y MacOS X Lion.

5.3 ESTRUCTURA BASICA DE UN PROGRAMA

Dentro del mundo de la programación sin importar el lenguaje utilizado, la estructuración del código lleva una secuencia lógica, esta se puede representar mediante un diagrama de flujo, sin embargo será representada por una lista con la finalidad de ejemplificar cada uno de los pasos.

1. Declarar el tipo de puerto a utilizar así como establecer la velocidad de transferencia de datos:

```
NmcNetwork mynetwork("/dev/ttyUSB0",19200);
```

2. Poner el controlador en sus condiciones iniciales como medida de seguridad, buscando resetear el contador del encoder y apagar el amplificador:

```
mynetwork.ResetPos(1, SIMPLE_RESET);
```

3. Establecer las ganancias del PID

```
mynetwork.SetGain(1,100,1000,50,200,255,53,32000,1,0,5);
```



Donde el primer dato es la dirección que se quiere sintonizar, el segundo parámetro la ganancia proporcional, el tercero la ganancia derivativa, el cuarto valor es la ganancia integral.

4. A manera de preparación del hardware se manda el sistema a su posición home se activa el amplificador, diciéndole al controlados que mantenga apagado el motor, debido a que hasta el momento no hemos indicado los parámetros de movimiento:

```
mynetwork.GoHome(1);
```

```
mynetwork.StopMotor(1, (AMP_ENABLE | MOTOR_OFF));
```

5. Establecer los parámetros del movimiento:

```
mynetwork.LoadTraj(1, (LOAD_POS | LOAD_VEL | LOAD_ACC | ENABLE_SE  
RVO), pos, vel, acel);
```

6. Una vez que el controlador está listo se puede iniciar el movimiento:

```
mynetwork.LoadTraj(1, START_NOW);
```

7. Una vez cargado dicho comando, el mecanismo empieza a moverse, debe tenerse especial cuidado en darle el tiempo adecuado al controlador para que el mecanismo efectúe la tarea encomendada, ya que si se le carga una nueva orden dará por terminada la anterior, por lo es necesario esperar por el bit de Move-is-done para mandar el siguiente comando:

```
while (mynetwork.IsMoveDone(1)==0)
```



8. Una vez realizado el conjunto de tareas encomendadas debe de apagar el motor y el amplificador:

```
mynetwork.StopMotor(1, MOTOR_OFF);
```

9. Si el programa ha llegado a su final se debe poner el mecanismo y el controlador en su estado de seguridad:

```
mynetwork.GoHome(1);
```

```
mynetwork.HardReset();
```

La librería fue desarrollada en C++ con la finalidad de hacerla universal, operable sobre cualquier sistema operativo, esta cualidad le da la facilidad al usuario de escribir su propio código. Este código puede ir desde la declaración de variables nuevas, la generación de reportes en *.txt o graficas.

El desarrollo del software se hizo considerando las funciones originales propuestas por el fabricante del hardware por lo que cualquier referencia con respecto a las funciones utilizadas o a utilizar se puede revisar en el datasheet que ofrece el fabricante.

De igual manera, se generó un archivo HTML mediante la paquetería Doxygen donde se explican de manera detallada las funciones y grupos de variables definidas y usadas tanto en la librería central como en los archivos no comerciales que la respaldan.



6. EXPERIMENTACION

Se realizaron varias pruebas para comprobar el funcionamiento del sistema mecánico en vacío y con plena carga, buscando verificar que los requerimientos planteados fueron cumplidos.

Para lograr esto se llevó acabo un experimento donde se realiza control de movimiento y adquisición de datos al mismo tiempo (Explicado en la sección 6.2)

En el caso de la adquisición de datos es un desarrollo previo por parte del personal de ISIR, sin embargo fue necesario adaptar las condiciones originales al sistema utilizado.

6.1 SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS

El software de adquisición de datos fue generado por personal de ISIR para poder usar una tarjeta NI-9234 de National Instruments (Figura 6.1).



Figura 6.1 NI-9234



El 9234 de National Instruments es un módulo de cuatro canales de la Serie C para adquisición de señal dinámica para realizar medidas de frecuencia de audio de alta precisión desde sensores piezoeléctricos electrónicos integrados (IEPE) y no IEPE con sistemas NI CompactDAQ o CompactRIO. El NI 9234 proporciona rango dinámico de 102 dB e incorpora acondicionamiento de señales IEPE seleccionable por software para acelerómetros y micrófonos. Los cuatro canales de entrada digitalizan señales simultáneamente a rangos de hasta 51.2 kHz por canal con filtros integrados anti-aliasing que ajustan automáticamente su rango de muestreo.

Sus características son las siguientes:

- Acondicionamiento de señales IEPE seleccionable por software (0 o 2mA)
- Máxima velocidad de muestro de 51.2 kS/s por canal acoplado en AC (0.5)
- Resolución de 24 bits; rango dinámico de 102 dB; filtros anti-aliasing.
- 4 entradas analógicas muestreadas simultáneamente, rango de entrada +-5 V.
- Compatibilidad con sensores inteligentes TEDS
- Certificados de calibración trazable expedidos por NIST.

National Instruments (NI) ofrece software específico para sus productos para poder utilizarlos en diferentes plataformas, como puede ser Windows y Linux. Como ya se había mencionado antes un objetivo del proyecto en general es que el desarrollo de software siga la filosofía de software libre, por lo que todo se establece en SO Linux.

Sin embargo NI solo ofrece software para dos distribuciones de Linux RedHat y Suse, en este caso se escogió trabajar con OpenSuse en su versión 11.2 que es la que soporta el hardware de NI.



6.2 PREPARACION DEL EQUIPO DE COMPUTO

Aunque ya se tenía una librería para utilizar la NI-9234 no había podido repetirse la utilización de la misma en diferentes equipos de cómputo, por lo que se generó un pequeño manual de instalación tanto del SO como de los drivers y la librería.

En la actualidad la empresa Novell nos ofrece la versión 11.4 de Suse tanto en versiones de pago como libres, sin embargo NI solo ofrece drivers para la versión 11.2 por lo que se decidió utilizar la versión libre de la misma, es decir OpenSuse 11.2, para instalarla hay que seguir los siguientes pasos:

- Descargar la versión 11.2 de OpenSuse
- Correr el instalador del SO teniendo especial cuidado en escoger la versión gráfica con KDE e instalar las herramientas de desarrollo de software C++. Todo sin conexión a red.
- Una vez instalado el SO se debe deshabilitar las actualizaciones automáticas que podrían afectar el Kernel del sistema, actualizando el mismo a la versión 11.4.
- Instalar la última versión de la librería de comunicación serial de BOOST
- Instalar *Kernel source* y *Kernel symvers* en sus versiones 2.6.31.5-0.1.1
- Debido a que la librería de adquisición hace cálculos de transformada rápida de Fourier se debe instalar las librerías *fftw-3.2.2* y *fftw-devel-3.2.1-3.1*.

En este momento el equipo de cómputo está listo para instalar los driver de NI-9234 así como la librería desarrollada por el personal de ISIR.



Virtual Instrument Software Architecture (VISA) es un lenguaje para la configuración, programación y resolución de problemas de sistemas desarrollados GPIB, VXI, PXI, Serial, Etehernet y/o USB. VISA provee una interface de programación entre el hardware y programas como LabView o lenguajes de programación como C++. NI-VISA incluye librerías de sistema, herramientas interactivas como NI-Spy y el VISA Interactive control, así como la configuración de programas mediante MAE para todas las necesidades de desarrollo.

La principal plataforma de desarrollo de VISA es Windows sin embargo existen librerías especiales para poder utilizarla sobre SO's Linux como OpenSuse. NI brinda una imagen *.iso con todo lo necesario para la instalación de VISA y los drivers de la NI-9234.

Una vez descargadas las librerías de VISA y de NI-9234 deben seguirse los siguientes pasos para su instalación:

- Crear un punto de montaje con :
 - `sudo mkdir <nombre> del archivo`
- Ingresar la contraseña de sistema
- Una vez creado montar ahí NI-VISA mediante la siguiente línea:
 - `sudo mount -t iso9660 -o loop NI-VISA-5.0.0.iso /directorio/de/montaje`
- ir a `/usr/src/linux <versión>` y desde ahí correr el siguiente comando:
 - `make mrproper`
- acceder como superuser
 - `su`
 - ingresar la contraseña de usuario



- ahí mismo correr:
 - `sudo zcat /boot/symvers<version>.gz > Module.symvers`
- `make cloneconfig`
- `make modules_prepare`
- regresar al punto de montaje de VISA y desde ahí correr:
 - `sudo ./INSTALL`
- Una vez que termine la instalación reiniciar el sistema
- Una vez que reinicio el sistema montar NI-Daq de la siguiente forma:
 - `sudo mount -t iso9660 -o loop nidaqmxbase-3.4.0.iso /directorio/de/montaje`
- Accesar al punto de montaje y desde ahí correr:
 - `sudo ./INSTALL`
- Una vez completada la instalación reiniciar el equipo

Es importante seguir los pasos antes mencionados de manera estricta, debido a que cualquier error en la configuración puede ocasionar que el Kernel se dañe y tengamos que instalar un nuevo SO.

Una vez instalada la NI-9234 se debe conectar por USB al ordenador si led en el módulo parpadea, quiere decir que tuvimos una instalación correcta y estamos listos para la instalación de la librería.



Para poder compilar e instalar la librería se deben seguir los siguientes pasos:

- Editar los make files con la finalidad de indicar la ubicación de los diferentes archivos.
- Abrir una terminal y acceder al punto donde están los archivos de librería y correr *make* el makefile está configurado para buscar los drivers de NI-9234, las librerías FFTW y el código fuente, así como instalar en el directorio de librerías del usuario.

De esta forma tenemos un equipo de cómputo totalmente configurado para utilizar la librería de control NMC-lib, la librería de adquisición lib9234 y el hardware de control PICSERVO y NIDAQ-9234.

6.3 PRUEBAS FINALES

Cuando el proyecto de sensado multimodal surge los objetivos eran muy ambiciosos, conforme se desarrolló se fueron encontrando nuevas metas que ayudaran a acotar el problema, comprenderlo de manera correcta y sobre todo desarrollarlo de manera más eficiente.

En un principio se planteó la necesidad de generar un algoritmo que pudiera localizar en el espacio una señal acústica con una cabeza artificial sin embargo en el camino surgieron diferentes obstáculos que dieron lugar a nuevos proyectos que complementarían al original, entre estos podemos mencionar los siguientes:

- Generación de un algoritmo matemático que describa cómo es que un ser humano aprende a utilizar sus oídos de acuerdo a la estructura de su oreja.
- Diseño de un mecanismo de rotación pura para brindar movilidad a una cabeza artificial.



- Estudio de la difusión de ondas sonoras de acuerdo a la estructura geométrica de un rostro humano.

Es este último punto el que da lugar a la prueba realizada por el profesor Sylvain Argentieri del ISIR. Unos de los primeros pasos en el desarrollo del proyecto fue crear un algoritmo que pudiera detectar la ubicación de una señal acústica en el espacio, triangulando la energía medida en los micrófonos de la cabeza artificial.

En el plano virtual dicho algoritmo funcionó a la perfección, sin embargo en la realidad la geometría de la cabeza dispersaba de formas inesperadas las ondas sonoras, por lo que tuvo que mejorarse dicho algoritmo, el cual se complicó aún más cuando la cabeza está en movimiento.

Dicho problema aún sin solución presenta la necesidad de poder localizar fuentes sonoras con dos micrófonos equidistantes en movimiento, por esta razón el robot llamado como Artificial Neck-Robot diseñado en CICATA fue adaptado para poder orientar dos micrófonos de alta definición en el espacio (Figura 6.2)

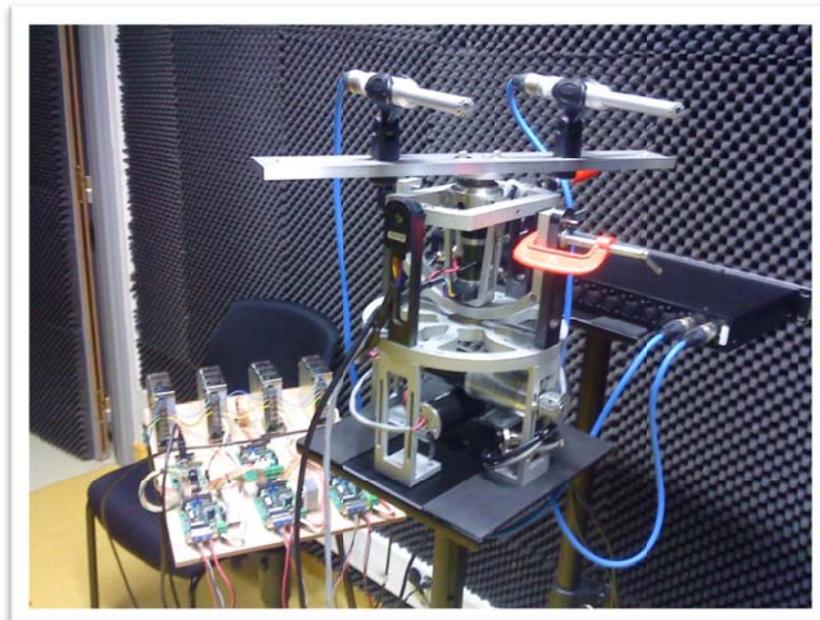


Figura 6.2 ANR modificado



La prueba tiene el objetivo de localizar una fuente sonora en el espacio cuando el receptor está en movimiento, con la finalidad de saber cómo es que se difunden las ondas de sonido en un sistema binaural, dicha fuente está en un lugar conocido y tiene una frecuencia conocida como ruido blanco.

Para poder llevar a cabo la prueba se requiere lo siguiente:

- Una sala aislada de ruido (Sale Son en ISIR)
- Un mecanismo de posicionamiento (ANR)
- Dos micrófonos de alta definición
- Una base graduada
- Tarjeta de adquisición de datos NI-9234

El procedimiento para realizar la prueba fue el siguiente:

- Ubicar en posiciones conocidas dentro de la sala aislada al robot ANR y a la fuente de sonora.
- Montar los micrófonos en ANR a una distancia conocida y equidistantes del centro de rotación.
- Actuar el primer motor para que recorra una trayectoria desde 0° hasta 180° alrededor del eje Z con la finalidad de grabar el ruido propio del mecanismo y poder filtrarlo de las pruebas finales.
- Hacer recorridos de 0° hasta 180° a diferentes velocidades que van desde 1RPM hasta 10 RPM.
- Grabar las señales adquiridas en cada uno de los recorridos.
- Grabar la posición en función del tiempo para cada recorrido.



-
- Integrar la información y tratarla con el algoritmo diseñado.

Los resultados obtenidos con esta prueba fueron publicados por el equipo de ISIR y sus colaboradores en Toulouse Francia, y permiten el avance en el proyecto de sensado multimodal.



7. CONCLUSION

Durante este trabajo se desarrolló el diseño, construcción, control y aplicación de un mecanismo de rotación pura de tres grados de libertad para brindar movilidad a una cabeza artificial, de acuerdo a los requerimientos expresados por el personal de ISIR.

La ventaja de la estructura mecánica radica en que ofrece la facilidad orientar un cuerpo en el espacio mediante tres rotaciones puras con un solo punto instantáneo de rotación.

Dentro de la robótica, ANR (Artificial Neck-Robot) puede clasificarse como un robot de tres grados de libertad en donde dos de ellos son paralelos. Considerando que es un mecanismo desacoplado no fue necesario realizar un análisis cinemático ya que para orientar la plataforma móvil en uno de los ejes solo es necesario actuar una de las articulaciones.

Al estar basado en parámetros humanos como lo son amplitud de movimiento, perfiles de velocidad y aceleración y tamaño permite realizar pruebas como las realizadas en ISIR.

En particular en ISIR con el desarrollo de este proyecto se permite avanzar en todos los proyectos enmarcados en el sentido multimodal, ofreciéndoles una herramienta completa para la orientación en el espacio de sistemas de adquisición acústica.



ANR es un robot con las siguientes características:

- Se puede considerar como un robot de rotación pura de 3 grados de libertad
- En comparación con las características humanas ANR tiene una amplitud de movimientos aceptable tal y como se muestra en la Tabla 7.1, con un error de 1.8°.

Tabla 7.1 Amplitud de movimiento

AMPLITUD DE MOVIMIENTO (grados)		
	HUMANO	ANR
ROTACION	134	+360
INCLINACION	86	95
FLEXION	46	73

7.1 LIMITACIONES

ANR presenta las siguientes limitantes:

- Solo puede soportar cargas de hasta 5 Kg.
- Para asegurar un control preciso del movimiento debe considerarse que el centro de masa de los objetos a montar en la plataforma móvil debe ser colineal con el centro instantáneo de rotación del mecanismo
- Con la versión actual de NMCLib es posible realizar operaciones en paralelo de adquisición de datos acústicas, sin embargo no es posible realizar modificaciones en los parámetros de movimiento durante la adquisición.



7.2 TRABAJOS FUTUROS

Aunque ANR es completamente funcional es posible realizarle mejoras:

- Colocar sensores de límite de carrera.
- Aislar acústicamente los motores.
- Mejorar NMCLib para poder realizar cambios en las trayectorias durante la adquisición
- Estudio de precisión, y receptibilidad.
- Adaptar un dispositivo para tensar las bandas, cabe mencionar que se presenta una propuesta en los anexos.



REFERENCIAS

- Adelstein, B. D., Ho, P., & Kazerooni, H. (1996). Kinematic Desing of a Three Degree of Freedom Parallel Hand Controller Mechanism. *ASME Dynamic System and Control Division* (págs. 539-546). California, EUA: ASME.
- Biera, R., Lopes, M., Praca, M., Santos-Victor, J., Bernardino, A., Metta, G., y otros. (2006). Design of teh Robot-Cub (iCub) Head. *IEEE International Conference on Robotics and Automation* . Orlando: IEEE.
- Di Gregorio, R. (2003). Kinematics of the 3-UPU wrist. *Mechanism and machine theory*, 253-263.
- Faires, D., & Burden, R. (1997). *Numerical analysis*.
- Fu, K., Gonzales, R., & Lee, C. (1990). *Robotica, control, deteccion, vision e inteligencia*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Garcia Rojas, V., Lechuga Castro, C. C., & Valencia Argüello, R. (2010). *Diseño de una biblioteca inteligente*. Mexico: IPN.
- Gas, B. (2010). *Space dimension perception from the multimodal sensorimotor flow of a native robotic agent*. Francia.
- Gong, J., Zhang, Y., & Gao, F. (2007). Type synthesis of parallel robot based on the kinematic element. Besancon, Francia: 12th IFToMM World Congress.
- Gosselin, C., & Angeles, J. (1989). The optimum kinematic design of a spherical three-degree-of-freedom parallel manipulator. *Journal of Mechanism, Transmission and Automation*, 202-207.
- Grupe, D. (1972). *Identification of systems*.
- Kerr, J. (2005). *PIC-SERVO Motion Control Board*.
- Kerr, J. (2005). *SSA-Smart Serial Adapter*.
- Majou, F., Wanger, P., & Chablat, D. (2002). Desing of a 3 axis parallel machine tool for high speed machining: The orthoglide. Clermont-Ferrand, Francia: IDMME.
- Markovsky, L., & Willems, J. (2005). *Application of structures total least squares for system identification and model reduction*.
- Merlet, J.-P. (2000). *Parrallel Robots*. Holanda: Kluwer Academic Publishers.



-
- Ogata, K. (2003). *Ingenieria de control moderna*. Madrid: Pearson Educacion.
- Pichardo, J. (2008). *Compensacion de zona muerta y variacion de carga en el control de velocidad de motores de corriente directa*. Centro de Investigacion en Ciencia Aplicada y Tecnologia Avanzada, Unidad Queretaro.
- Sanchez Alonso, R. E. (2011). *Elaboracion de un sistema mecatronico para incrementar el angulo de vision del LIDAR HDL-64E*. Centro de Investigacion en Ciencia Aplicada y Tecnologia Avanzada.
- Shaoping, B., Hansen, M., & Angeles, J. (2009). A robust forward-displacement analysis of spherical parallel robots. *Mechanism and Machine Theory*.
- Takeda, Y., & Huda, S. (2007). Dimensional Synthesis of 3-URU Pure Rotational Parallel Mechanism with Respect to Singularity and Workspace. *12th IFTOMM World Congress*, (págs. 18-21). Besancon, Francia.
- Takeda, Y., Funabashi, H., & Sasaki, Y. (1996). Development of spherical in-parallel actuated mechanism with three degrees of freedom with large working space and high motion transmissibility. *39(3)*.
- Vischer, P., & Clavel, R. (2000). Argos: mecanismo paralelo de tres grados de libertad para una muñeca. *The international Journal of Robotics Research*, 19;5.



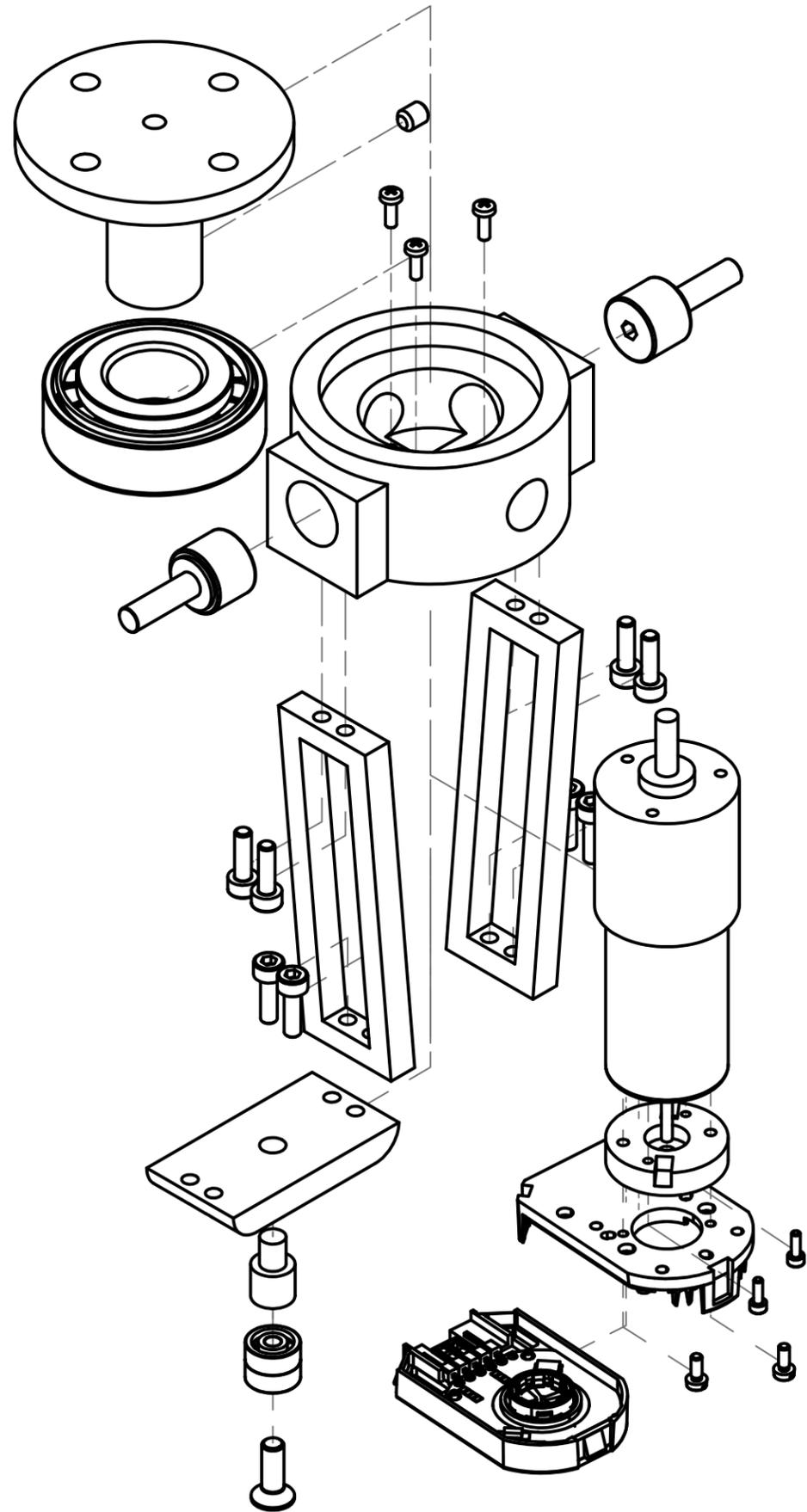
ANEXOS



A1 “PLANOS”

PAPER SIZE:

ARCHIVO CAD:

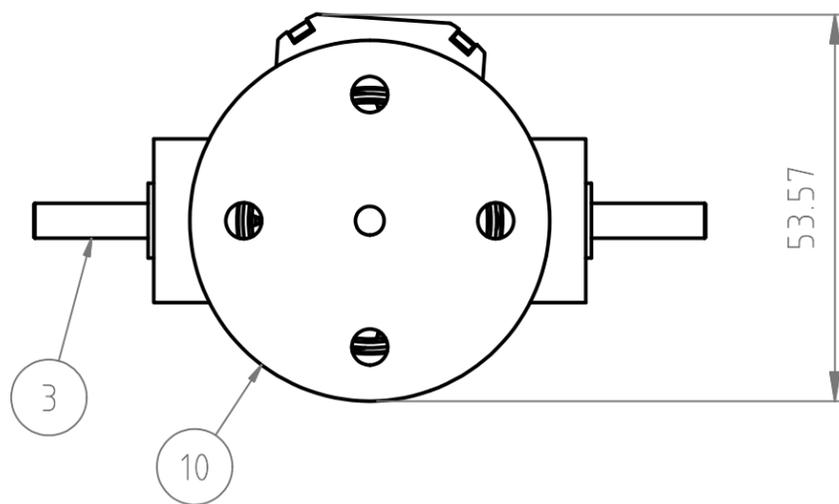


Parts List			
ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	Base	Iron
2	1	Motor s-2223	Maxon
3	2	Camfollower CF-1/2-SB	Mc-Gill
4	2	Columna	Aluminium T6-6061
5	1	Union	Aluminium T6-6061
6	1	Encoder AMT 102	CUI-INC
7	1	Encoder Base	Aluminium T6-6061
8	1	Espaciador	Aluminium T6-6061
9	1	Conic Bearing 30203 J2	SKF
10	1	Cople	Aluminium T6-6061
11	8	Socket Head Cap Screw M3x10	Commercial
12	2	Socket Head Cap Screw M1.6x5	Commercial
13	2	Flat screw M2x5	Commercial
14	3	Cross screw M2x6	Commercial
15	1	Hexagon Socket Set Screw M4x5	Commercial
16	1	Comercial Bearing 10-4-6	Commercial
17	1	Countersunk Head Cap Screws M4-12	Commercial

---.DWG

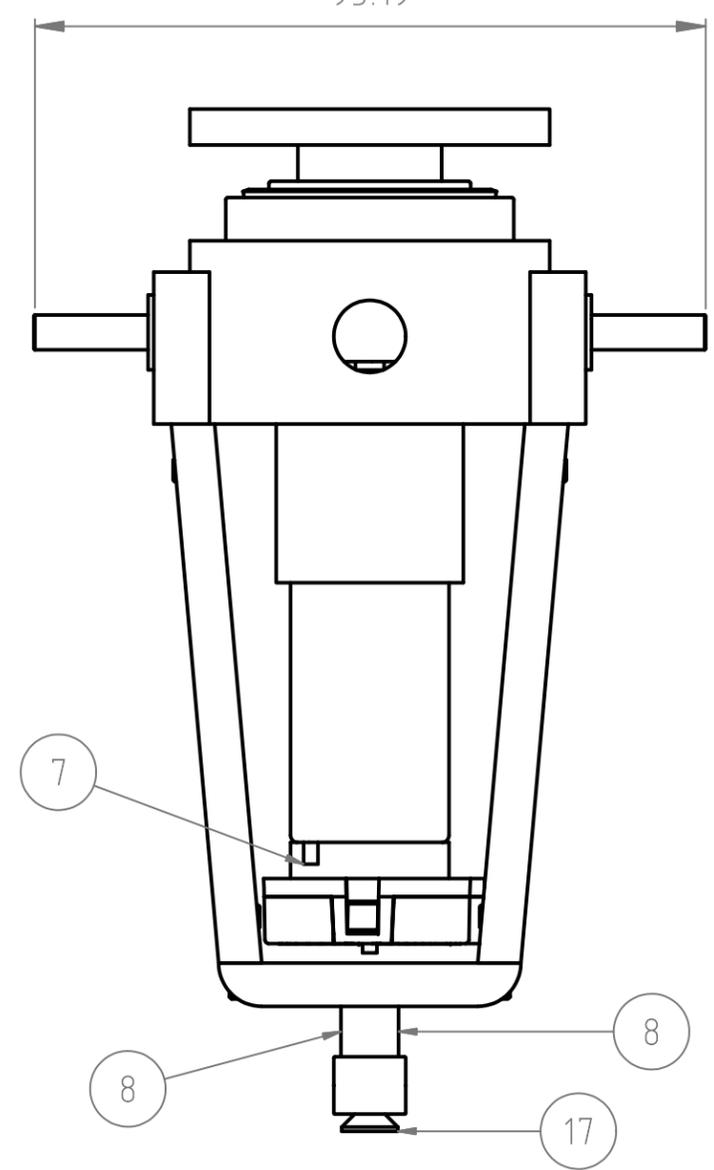
ESC: 1:1	ACOT: EN mm	DIB No. N-1G		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO	APROB: ECC			
TITULO: Assembly drawing First rotation	OT: 001	REVISION: 0		

REF: 0000000

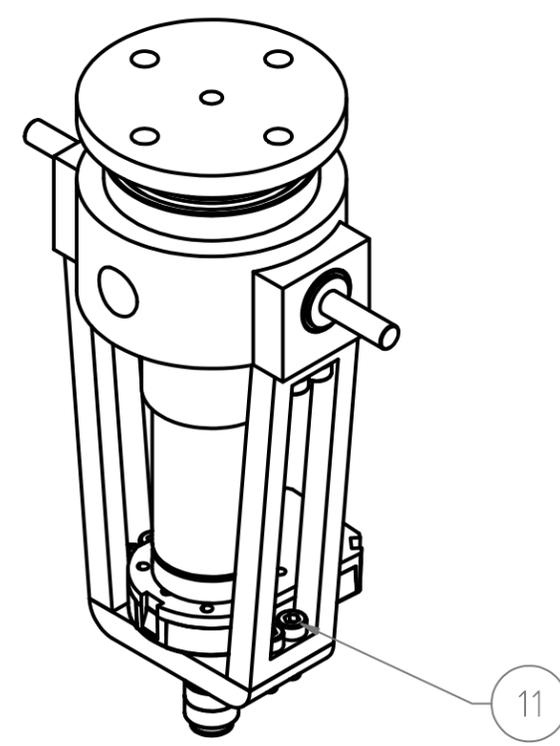
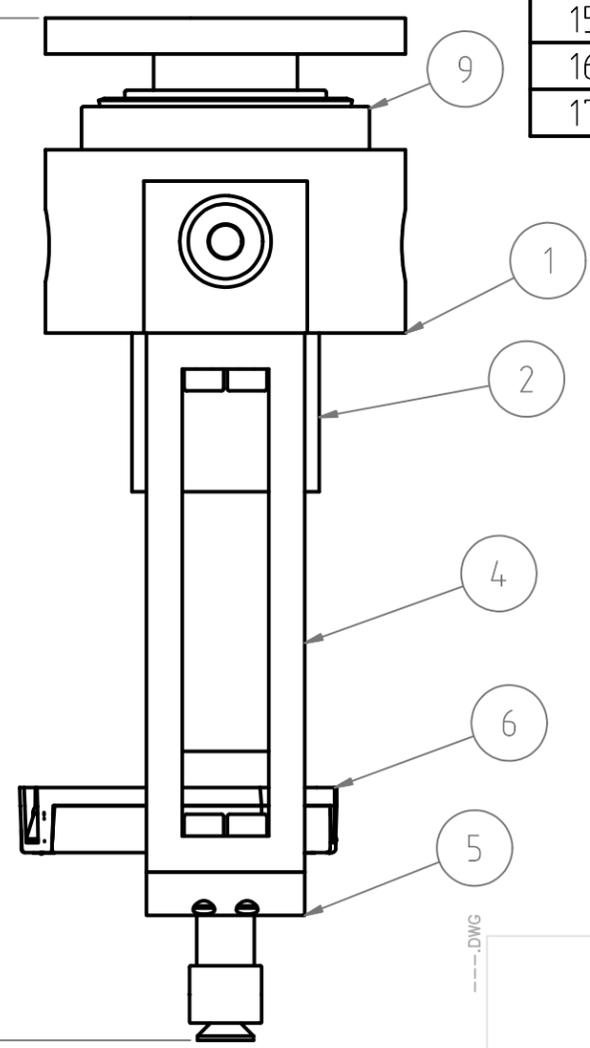


53.57

93.19



141.66



Parts List			
ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	Base	Iron
2	1	Motor s-2223	Maxon
3	2	Camfollower CF-1/2-SB	Mc-Gill
4	2	Columna	Aluminium T6-6061
5	1	Union	Aluminium T6-6061
6	1	Encoder AMT 102	CUI-INC
7	1	Encoder Base	Aluminium T6-6061
8	1	Espaciador	Aluminium T6-6061
9	1	Conic Bearing 30203 J2	SKF
10	1	Cople	Aluminium T6-6061
11	8	Socket Head Cap Screw M3x10	Commercial
12	2	Socket Head Cap Screw M1.6x5	Commercial
13	2	Flat screw M2x5	Commercial
14	3	Cross screw M2x6	Commercial
15	1	Hexagon Socket Set Screw M4x5	Commercial
16	1	Comercial Bearing 10-4-6	Commercial
17	1	Countersunk Head Cap Screws M4-12	Commercial

PAPER SIZE:

ARCHIVO CAD:

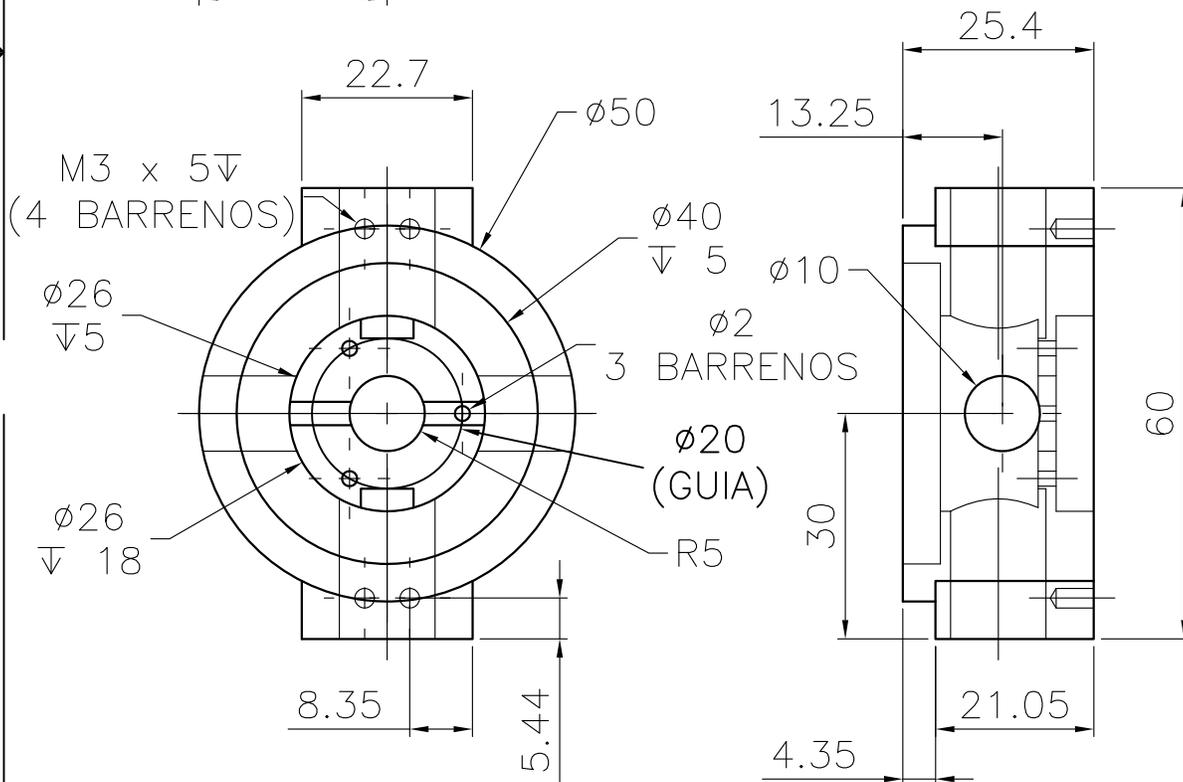
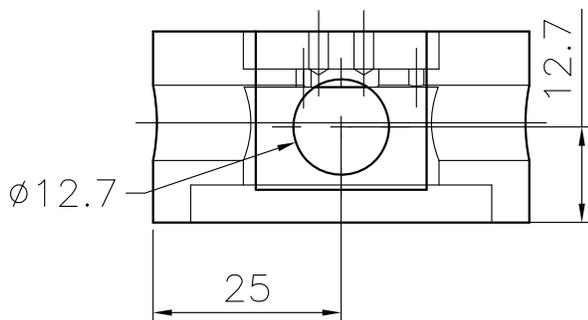
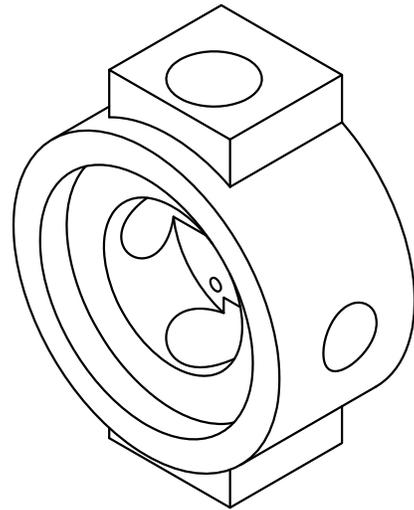
---.DWG

ESC: 1:1	ACOT: EN mm	DIB No. N-1G		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO		APROB: ECC		
TITULO: Set drawing First rotation	OT: 001	REVISION: 0		

REF: 0000000

PAPER SIZE: A

ARCHIVO CAD: ---.DWG

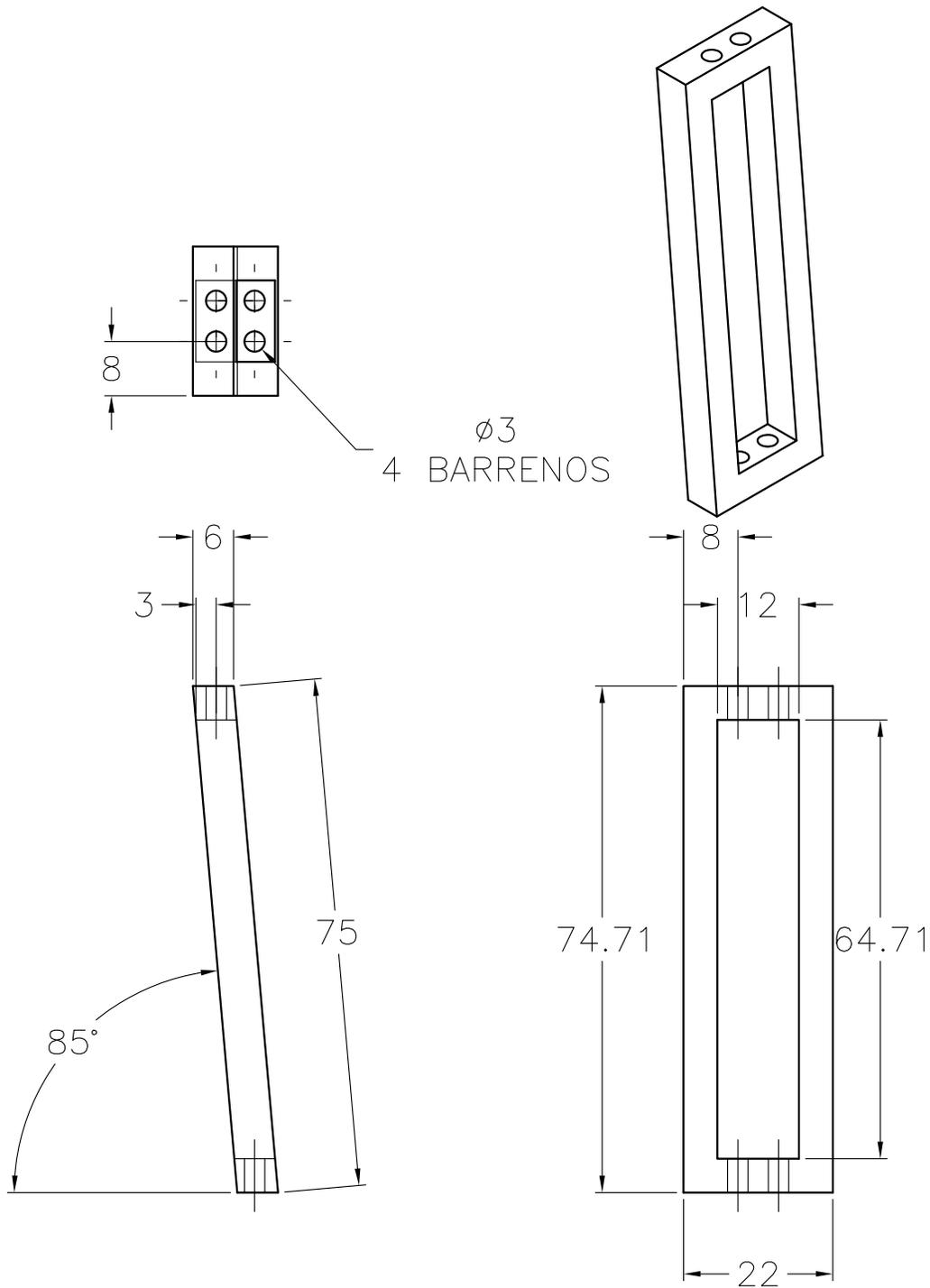


ESC: 1:1	ACOT: INDICADA	DIB No. N-1G-001		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 09-10-09	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO.	APROB: ECC			
TITULO: BASE PRIMER GIRO	OT: 001	REVISION: 0		

REF: 0000000

ESIME-UA-IM-08-A

PAPER SIZE: A



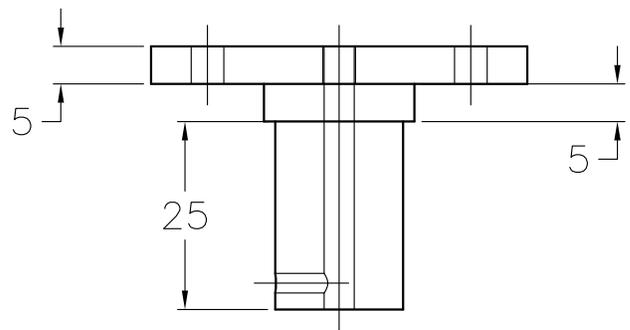
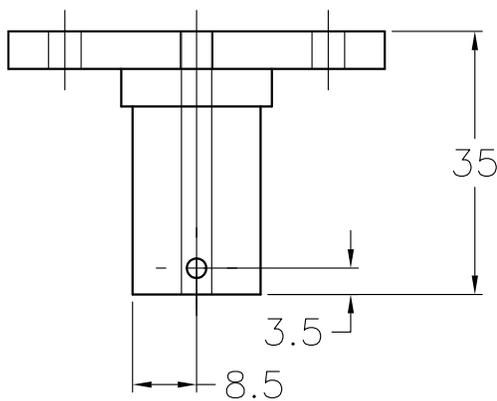
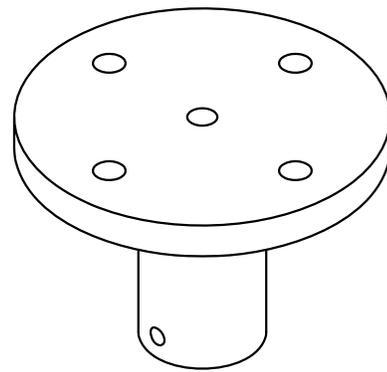
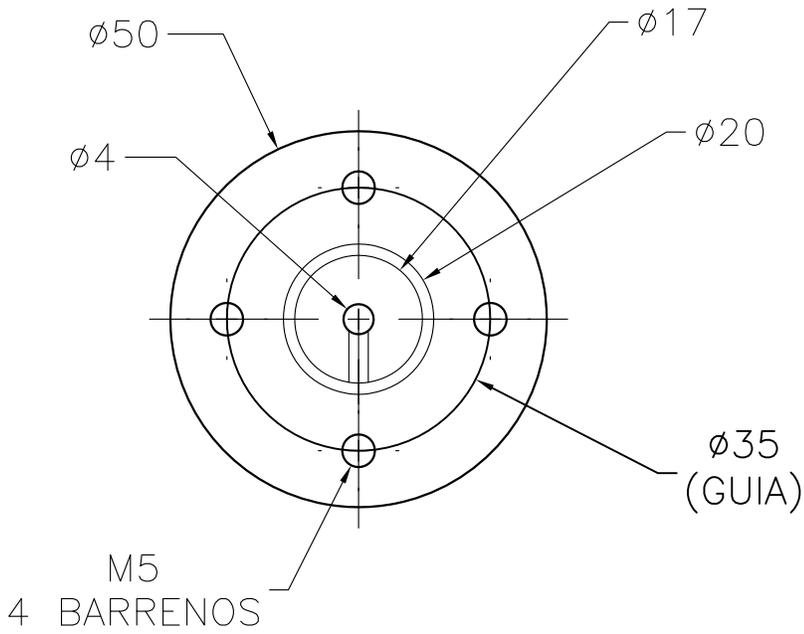
ARCHIVO CAD: ---.DWG

ESC: 1:1	ACOT: INDICADA	DIB No. N-1G-002		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 09-10-09	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO.	APROB: ECC			
TITULO: COLUMNA PRIMER GIRO	OT: 001	REVISION: 0		

REF: 0000000

ESIME-UA-IM-08-A

PAPER SIZE: A



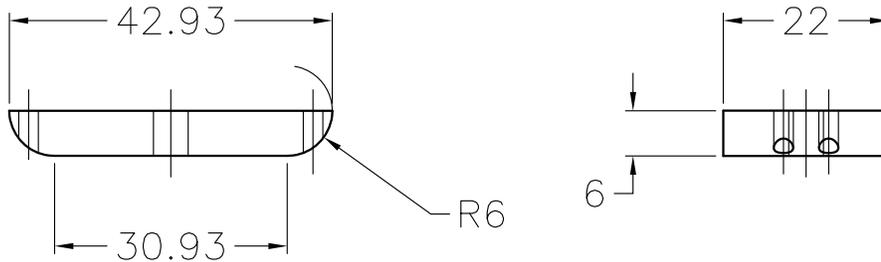
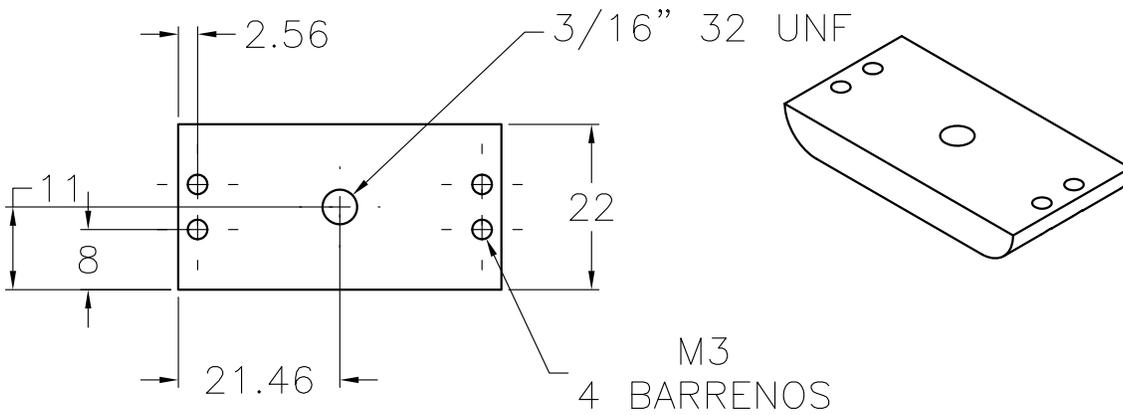
ARCHIVO CAD: ---.DWG

ESC: 1:1	ACOT: INDICADA	DIB No. N-1G-004		TOLERANCIAS GRALES. 0 \pm 1 0.0 \pm 0.2 0.00 \pm 0.02 ANGULARES \pm 1°
FECHA: 09-10-09	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO.	APROB: ECC			
TITULO: COPLER PRIMER GIRO	OT: 001	REVISION: 0		

REF: 0000000

ESIME-UA-IM-08-A

PAPER SIZE: A



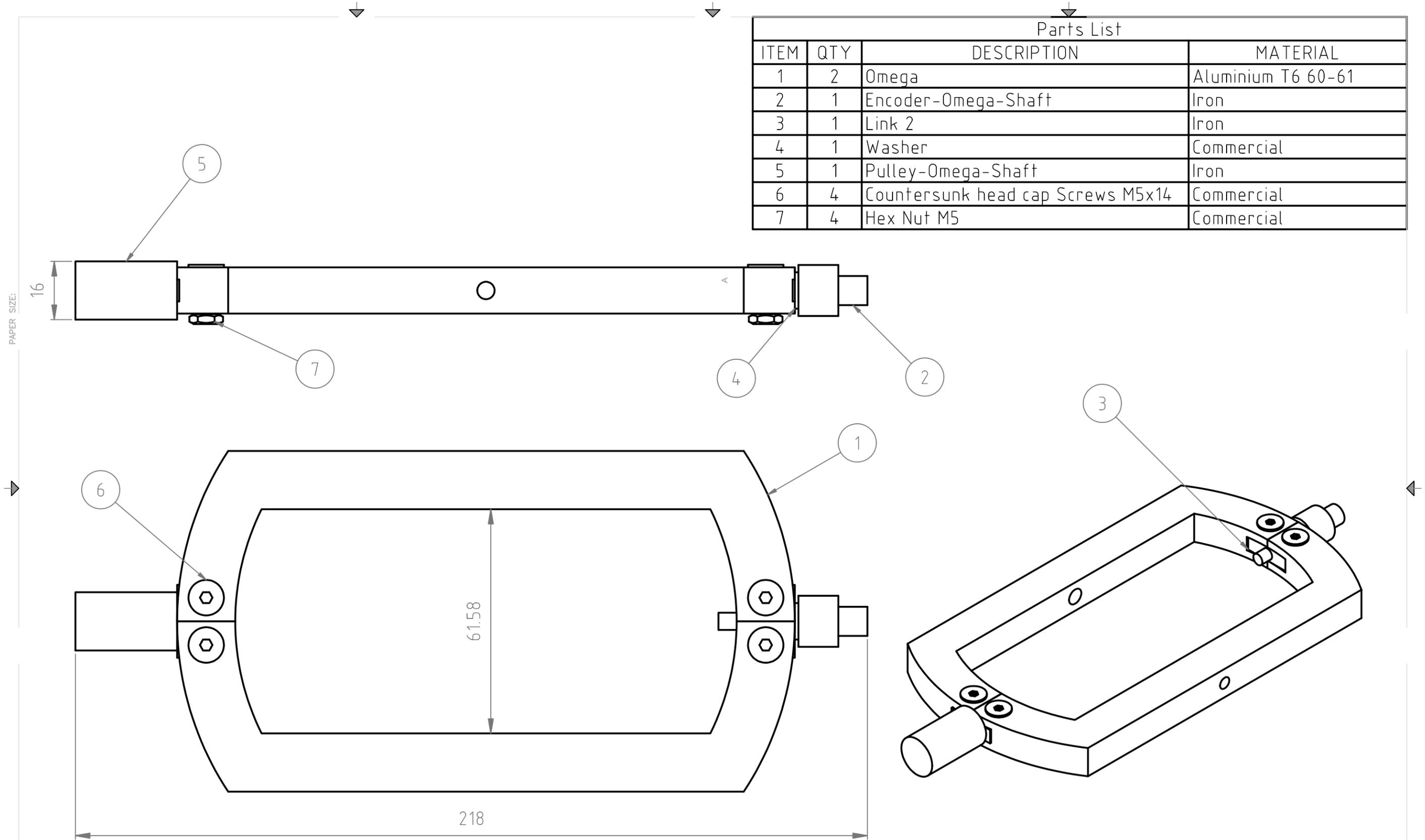
ARCHIVO CAD: ---.DWG

ESC: 1:1	ACOT: INDICADA	DIB No. N-1G-003		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 09-10-09	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO.	APROB: ECC			
TITULO: UNION PRIMER GIRO	OT: 001	REVISION: 0		

REF: 0000000

ESIME-UA-IM-08-A

Parts List			
ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL
1	2	Omega	Aluminium T6 60-61
2	1	Encoder-Omega-Shaft	Iron
3	1	Link 2	Iron
4	1	Washer	Commercial
5	1	Pulley-Omega-Shaft	Iron
6	4	Countersunk head cap Screws M5x14	Commercial
7	4	Hex Nut M5	Commercial



PAPER SIZE:

ARCHIVO CAD:

---.DWG

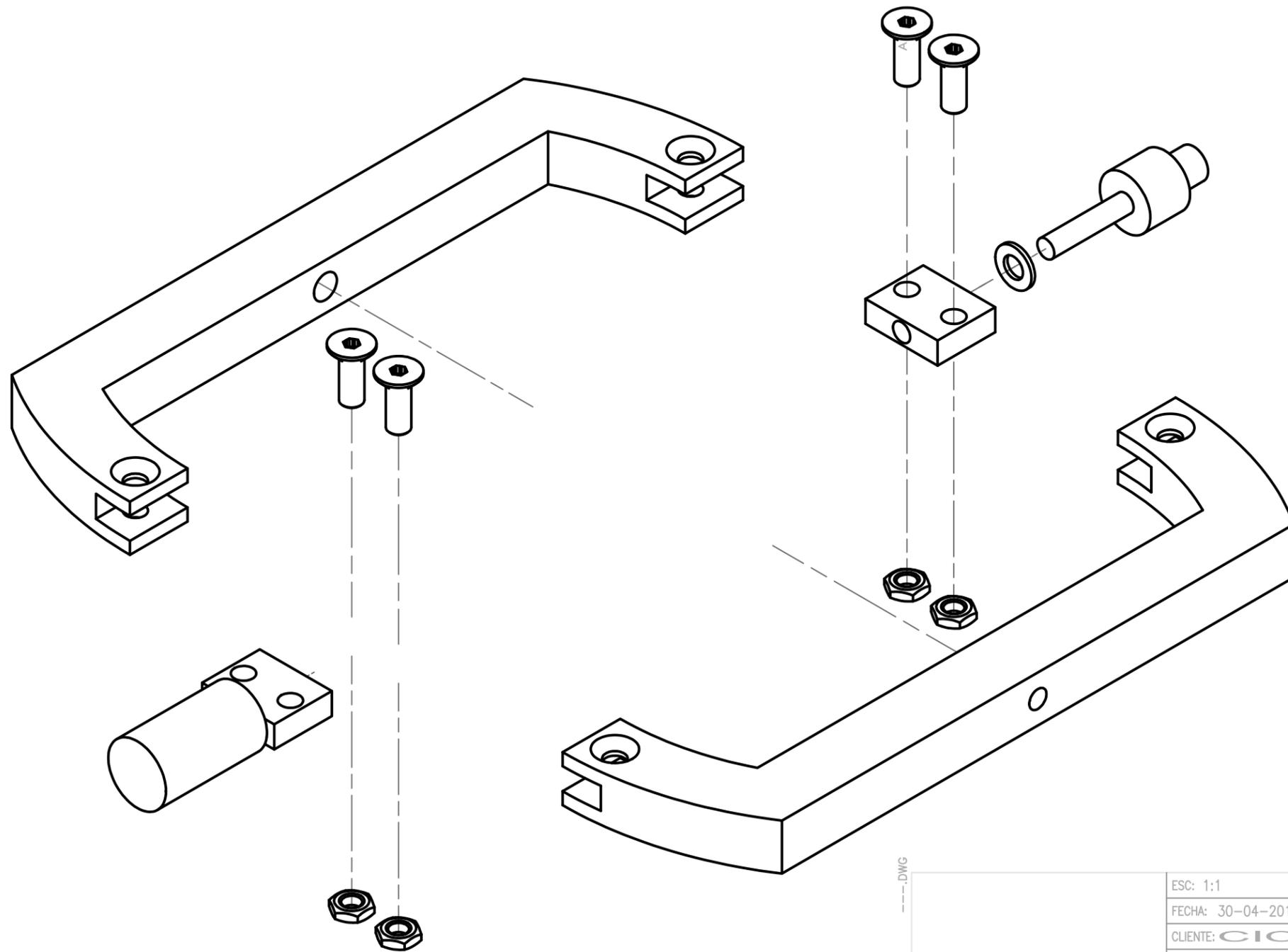
ESC: 1:1	ACOT: EN mm	DIB No. N-2G		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO	APROB: ECC			
TITULO: Set drawing Second rotation	OT: 002	REVISION: 0		

REF: 0000000

PAPER SIZE:

ARCHIVO CAD:

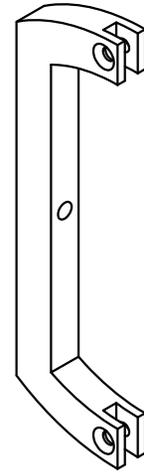
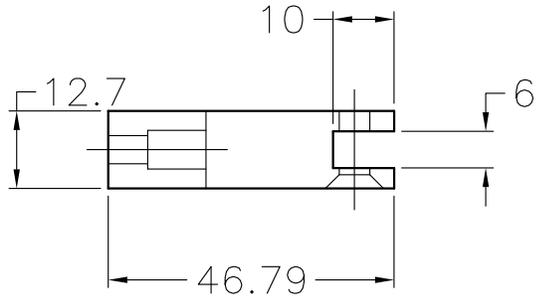
Parts List			
ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL
1	2	Omega	Aluminium T6 60-61
2	1	Encoder-Omega-Shaft	Iron
3	1	Link 2	Iron
4	1	Washer	Commercial
5	1	Pulley-Omega-Shaft	Iron
6	4	Countersunk head cap Screws M5x14	Commercial
7	4	Hex Nut M5	Commercial



---.DWG

REF: 0000000

ESC: 1:1	ACOT:EN mm	DIB No. N-2G		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO	APROB: ECC		OT: 002	
TITULO: Assembly drawing Second rotation			REVISION: 0	



$\phi 5 \vee \phi 9.5$
2 BARRENOS

R85

16

$3/16''$ 32 UNF
 $1/4''$ ∇ $3/8''$

141.92 123.49 +

170

8

R69

6.5

PAPER SIZE: A

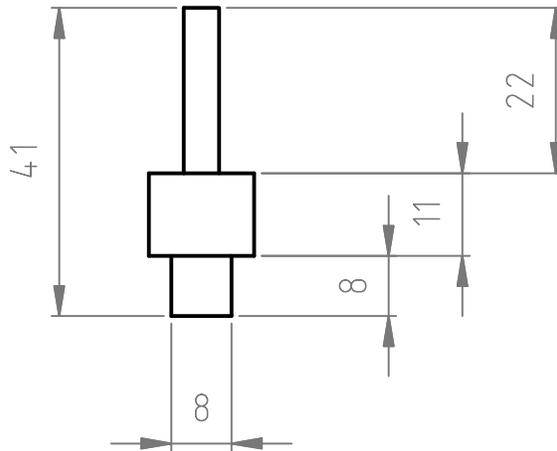
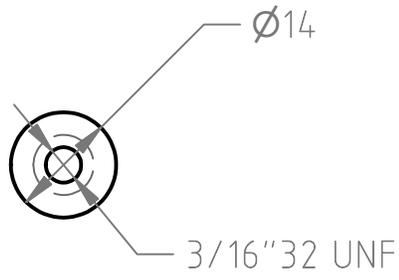
ARCHIVO CAD: ---.DWG

ESC: 1:0.8	ACOT: INDICADA	DIB No. N-2G-001		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 09-10-09	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO.	APROB: ECC			
TITULO: OMEGA SEGUNDO GIRO	OT: 002	REVISION: 0		

REF: 0000000

ESIME-UA-IM-08-A

PAPER SIZE: A

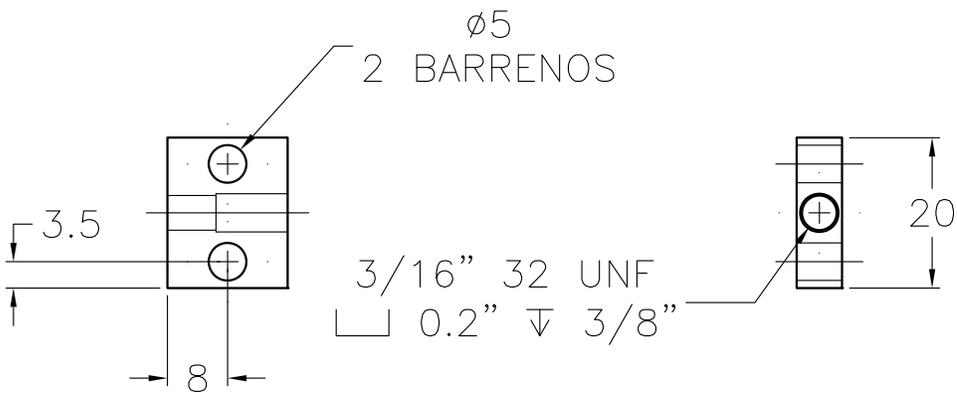
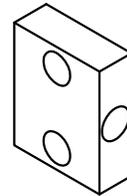
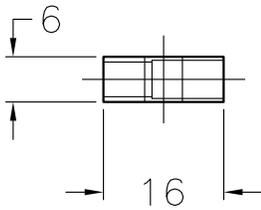


ARCHIVO CAD: ---.DWG

ESC: 1:1	ACOT: EN mm	DIB No. N-2G-002		TOLERANCIAS GRALES. 0 \pm 1 0.0 \pm 0.2 0.00 \pm 0.02 ANGULARES \pm 1'
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO		APROB: ECC		
TITULO: Encoder-Omega-S Second rotation		OT: 002	REVISION: 0	

REF: 0000000

PAPER SIZE: A



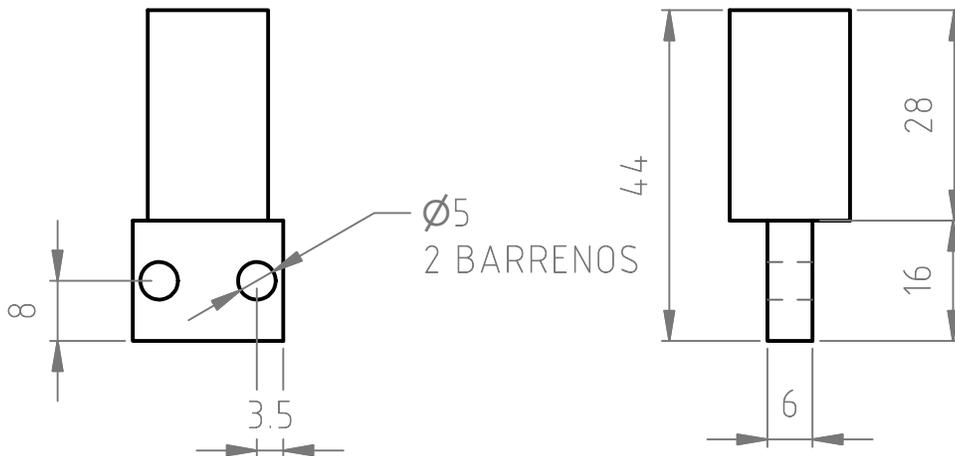
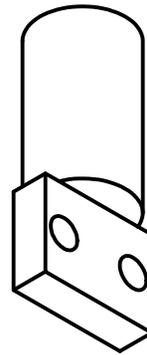
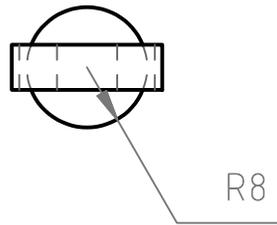
ARCHIVO CAD: ---.DWG

ESC: 1:0.8	ACOT: INDICADA	DIB No. N-2G-003		TOLERANCIAS GRALES. 0 \pm 1 0.0 \pm 0.2 0.00 \pm 0.02 ANGULARES \pm 1°
FECHA: 09-10-09	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO.	APROB: ECC			
TITULO: LINK 2 SEGUNDO GIRO	OT: 002	REVISION: 0		

REF: 0000000

ESIME-UA-IM-08-A

PAPER SIZE: A



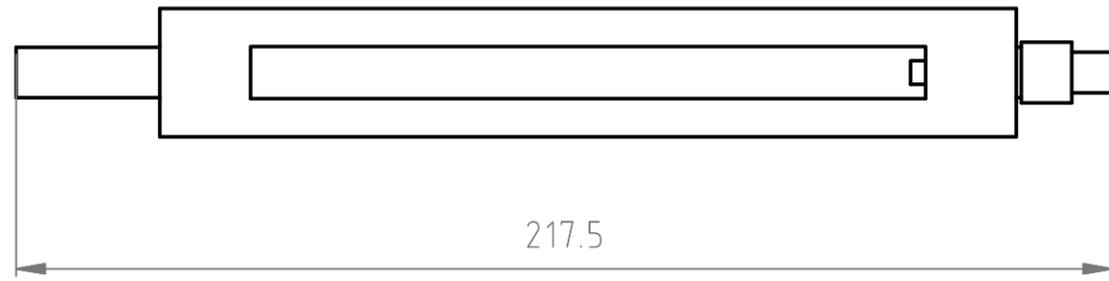
ARCHIVO CAD: ---.DWG

ESC: 1:1	ACOT: EN mm	DIB No. N-2G-004		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO	APROB: ECC			
TITULO: Pulley-Omega-S Second rotation	OT: 002	REVISION: 0		

REF: 0000000

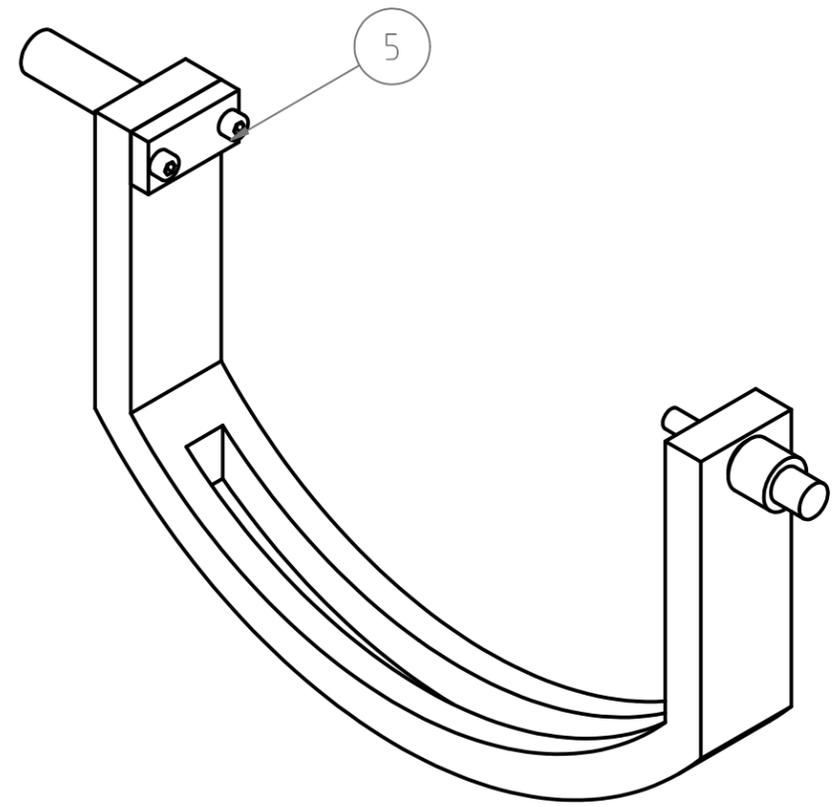
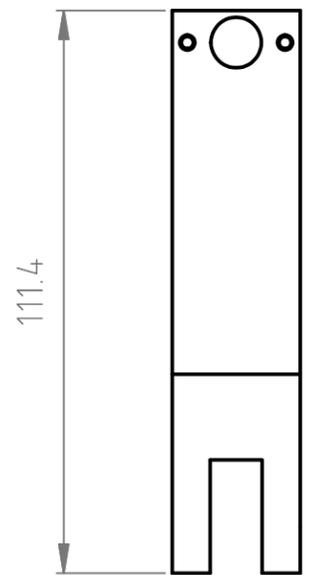
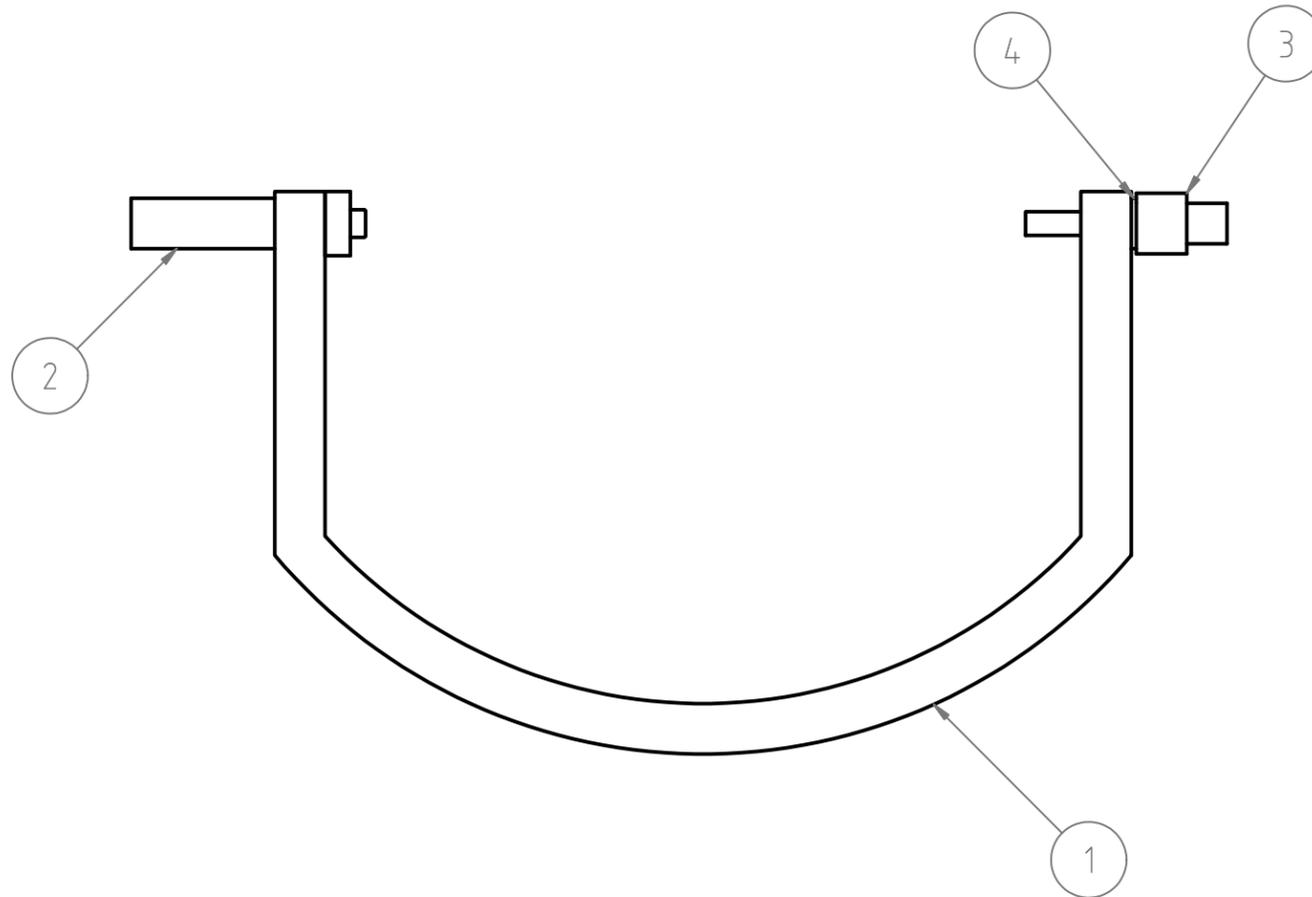
PAPER SIZE:

ARCHIVO CAD:



A

Parts List			
ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	U guide	Aluminium T6-6061
2	1	Pulley-U-Shaft	Iron
3	1	Encoder-U-Shaft	Iron
4	1	Washer	Commercial
5	2	Socket Head Cap Screw M3x12	Commercial



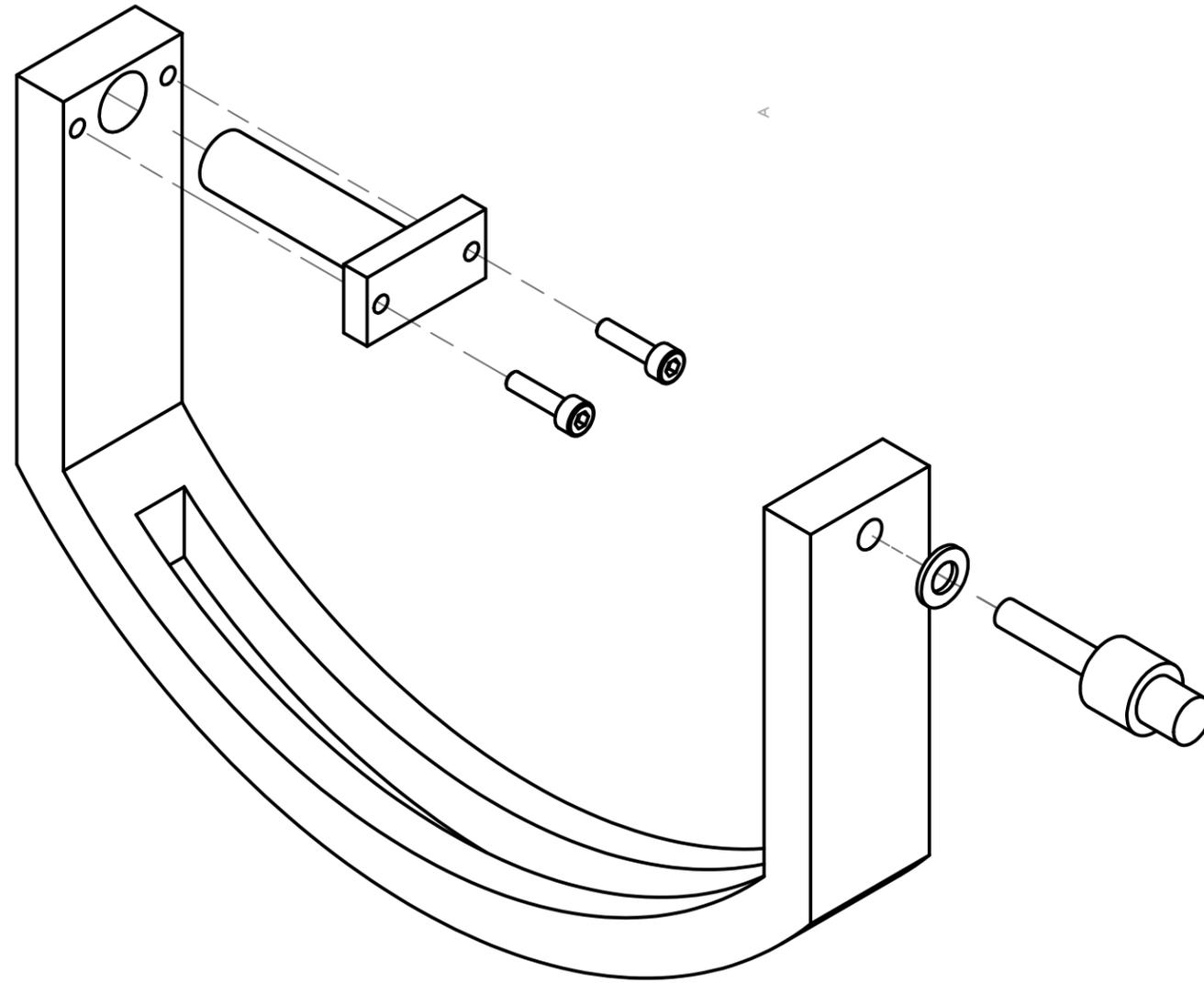
---.DWG

REF: 0000000

ESC: 1:0.7	ACOT: EN mm	DIB No. N-3G		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO		APROB: ECC		
TITULO: Set drawing Third rotation	OT: 003	REVISION: 0		

PAPER SIZE:

ARCHIVO CAD:



Parts List			
ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	U guide	Aluminium T6-6061
2	1	Pulley-U-Shaft	Iron
3	1	Encoder-U-Shaft	Iron
4	1	Washer	Commercial
5	2	Socket Head Cap Screw M3x12	Commercial

---.DWG

ESC: 1:1	ACOT:EN mm	DIB No. N-3G		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO	APROB: ECC			
TITULO: Assembly drawing Third rotation	OT: 003	REVISION: 0		

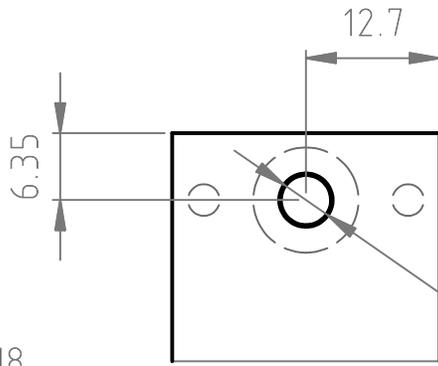
REF: 0000000

PAPER SIZE: A



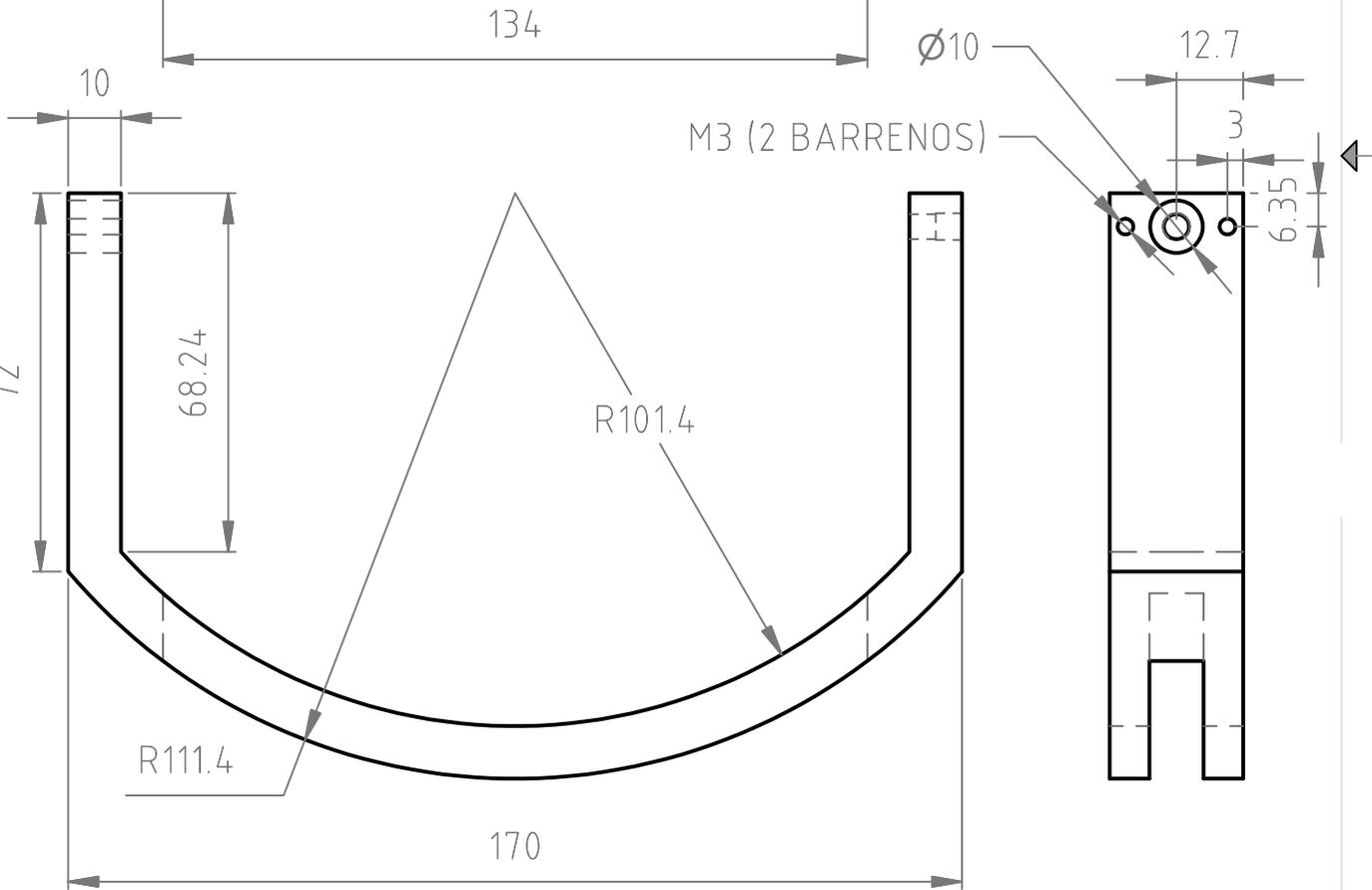
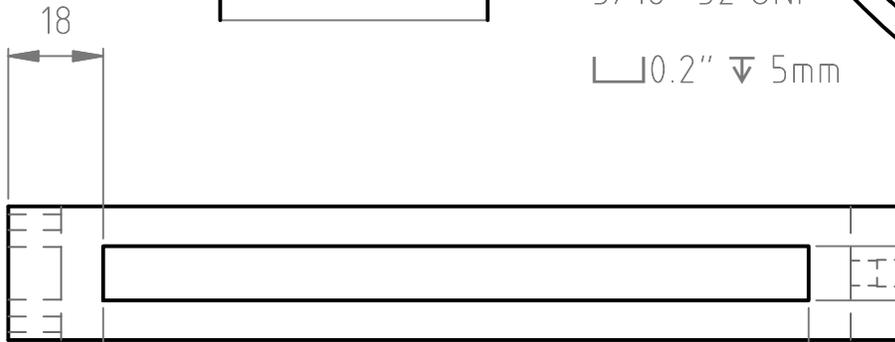
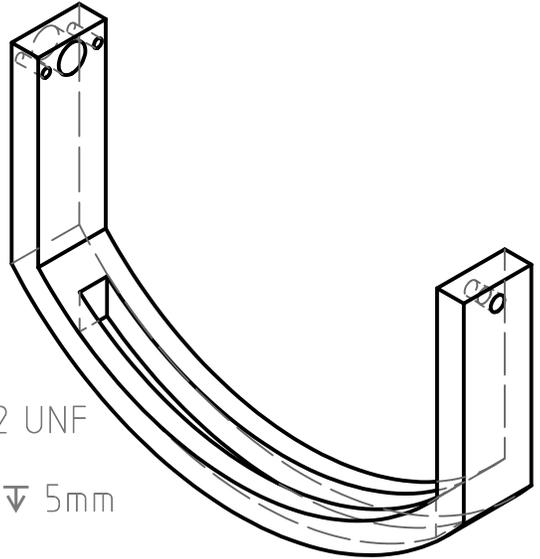
ARCHIVO CAD: ---.DWG

Right side detail



3/16" 32 UNF

0.2" 5mm



M3 (2 BARRENOS)

Ø10

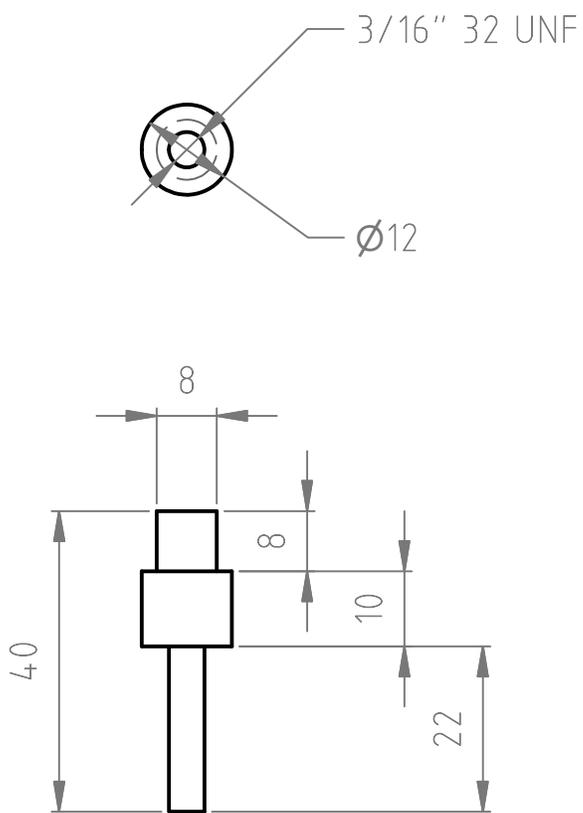
REF: 0000000

ESC: 1:0.7	ACOT: EN mm	DIB No. N-3G-001		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO		APROB: ECC		
TITULO: U guide Third rotation		OT: 003	REVISION: 0	



PAPER SIZE: A

ARCHIVO CAD: ---.DWG

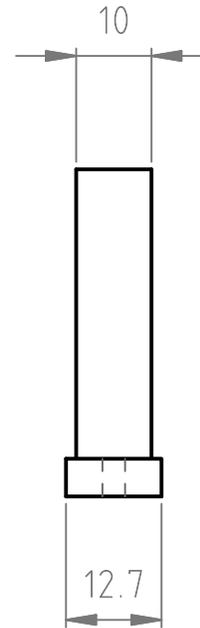
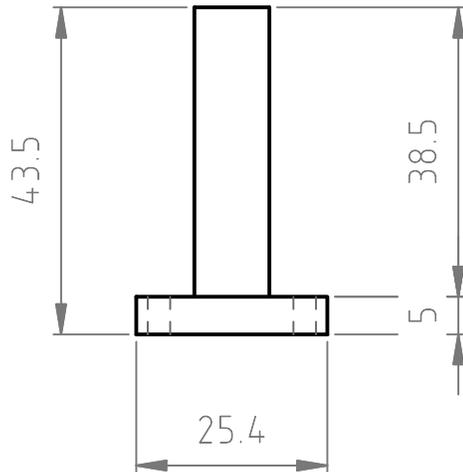
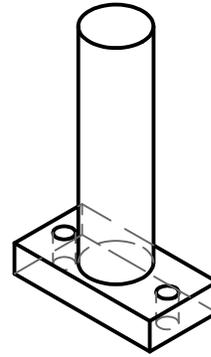
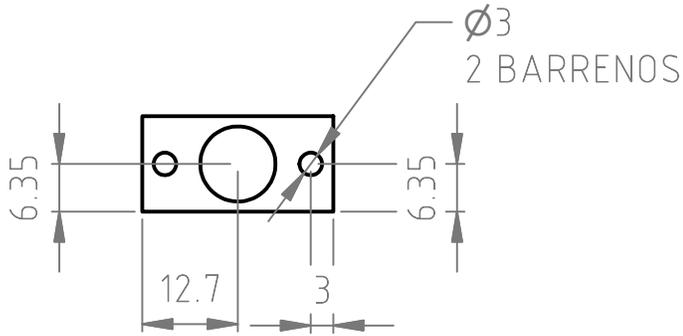


ESC: 1:1	ACOT: EN mm	DIB No. N-3G-003	
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA	
CLIENTE: CICATA QRO	APROB: ECC		
TITULO: Encoder-U-S Third rotation	OT: 003	REVISION: 0	

TOLERANCIAS GRALES.
0 ± 1
0.0 ± 0.2
0.00 ± 0.02
ANGULARES ± 1°

REF: 0000000

PAPER SIZE: A



ARCHIVO CAD: ----.DWG

ESC: 1:1	ACOT: EN mm	DIB No. N-3G-002	
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA	
CLIENTE: CICATA QRO	APROB: ECC		
TITULO: Pulley-U-S Third rotation	OT: 003	REVISION: 0	

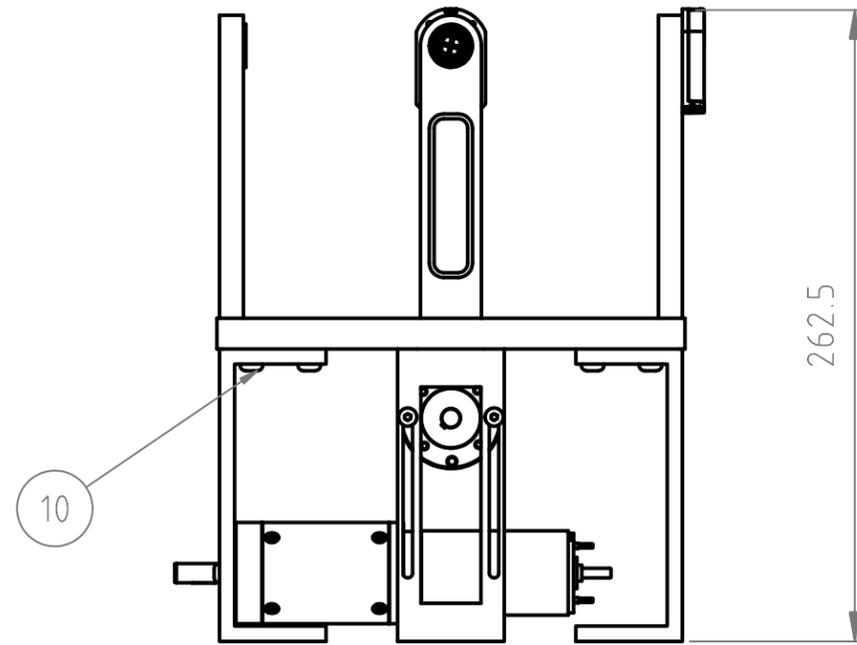
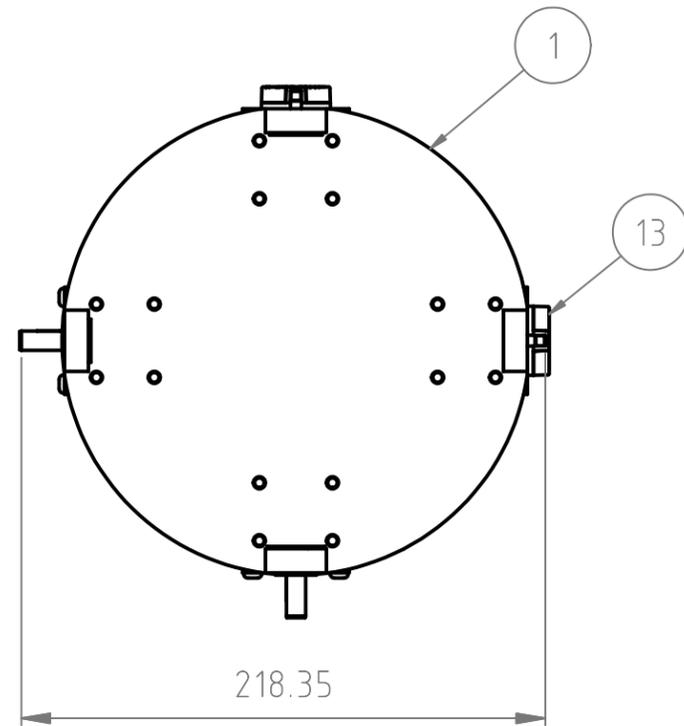
TOLERANCIAS GRALES.
0 ± 1
0.0 ± 0.2
0.00 ± 0.02
ANGULARES ± 1°

REF: 0000000

PAPER SIZE:

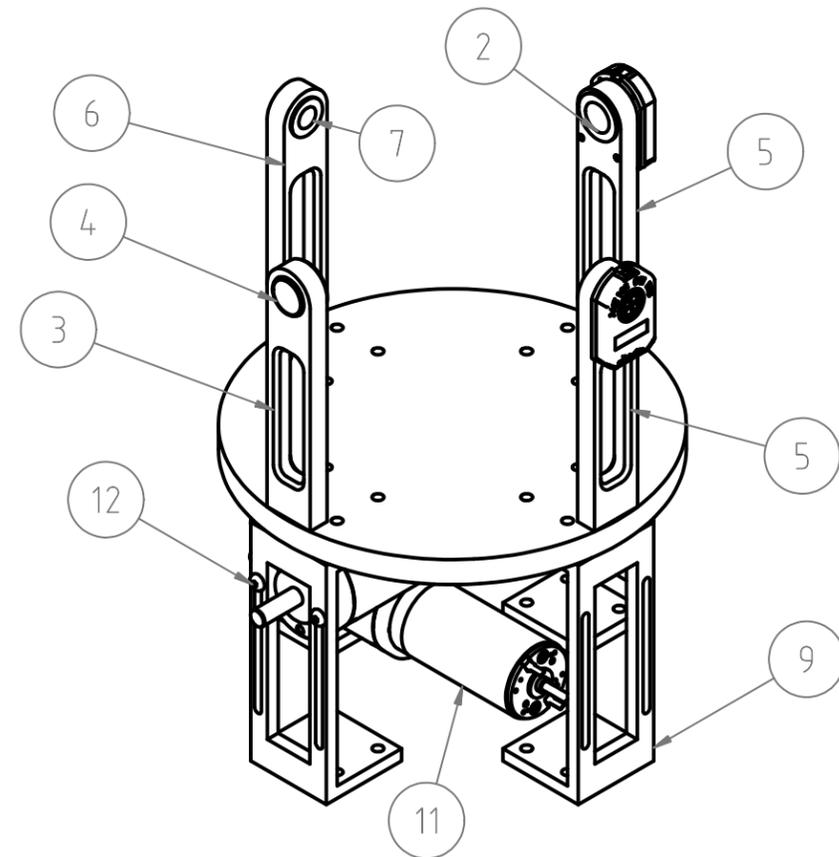
→

ARCHIVO CAD:



Parts List			
ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	Disc	Aluminium T6-6061
2	2	Plain Bearing	Iglidur
3	1	Pilar G2-P	Iron
4	1	Plain Bearing	Iglidur
5	2	Pilar G2/G3	Iron
6	1	Pilar G3-P	Iron
7	1	Plain Bearing	Iglidur
8	8	Socket Head Cap Screw M5x12	Commercial
9	4	Motor Base	Aluminium T6-6061
10	16	Socket Button H. Cap Screw M5 x 12	Commercial
11	2	Motor 118778	Maxon
12	4	Socket Button Head Cap Screw M4x10	Commercial
13	2	Encoder AMT102	CUI INC
14	4	Cross Head Screw M2x10	Commercial

A



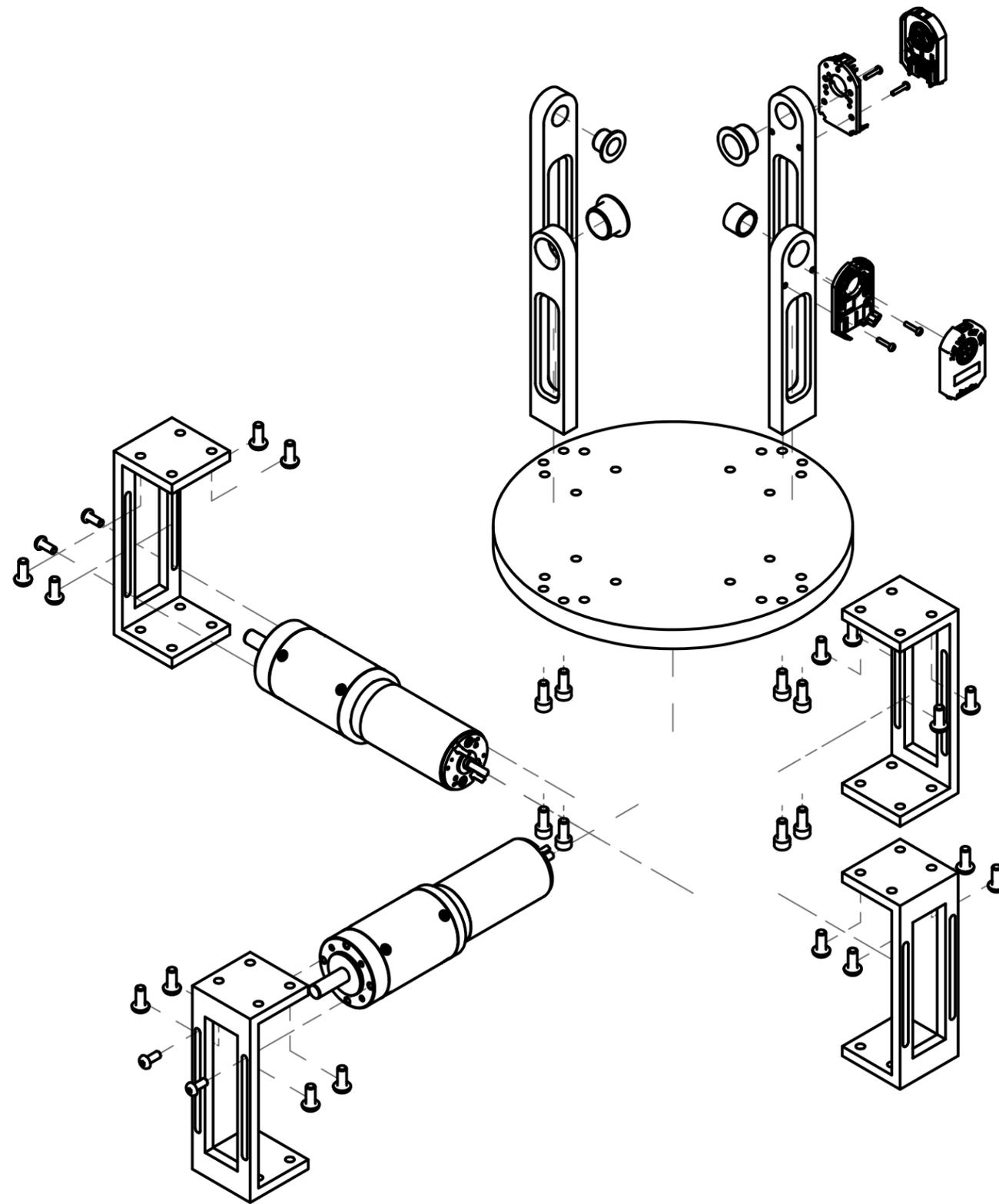
---.DWG

ESC: 1:2	ACOT: EN mm	DIB No. N-B		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO	APROB: ECC			
TITULO: Set drawing Base	OT: 004	REVISION: 0		

REF: 0000000

PAPER SIZE:

ARCHIVO CAD:



Parts List			
ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	Disc	Aluminium T6-6061
2	2	Plain Bearing	Iglidur
3	1	Pilar G2-P	Iron
4	1	Plain Bearing	Iglidur
5	2	Pilar G2/G3	Iron
6	1	Pilar G3-P	Iron
7	1	Plain Bearing	Iglidur
8	8	Socket Head Cap Screw M5x12	Commercial
9	4	Motor Base	Aluminium T6-6061
10	16	Socket Button H. Cap Screw M5 x 12	Commercial
11	2	Motor 118778	Maxon
12	4	Socket Button Head Cap Screw M4x10	Commercial
13	2	Encoder AMT102	CUI INC
14	4	Cross Head Screw M2x10	Commercial

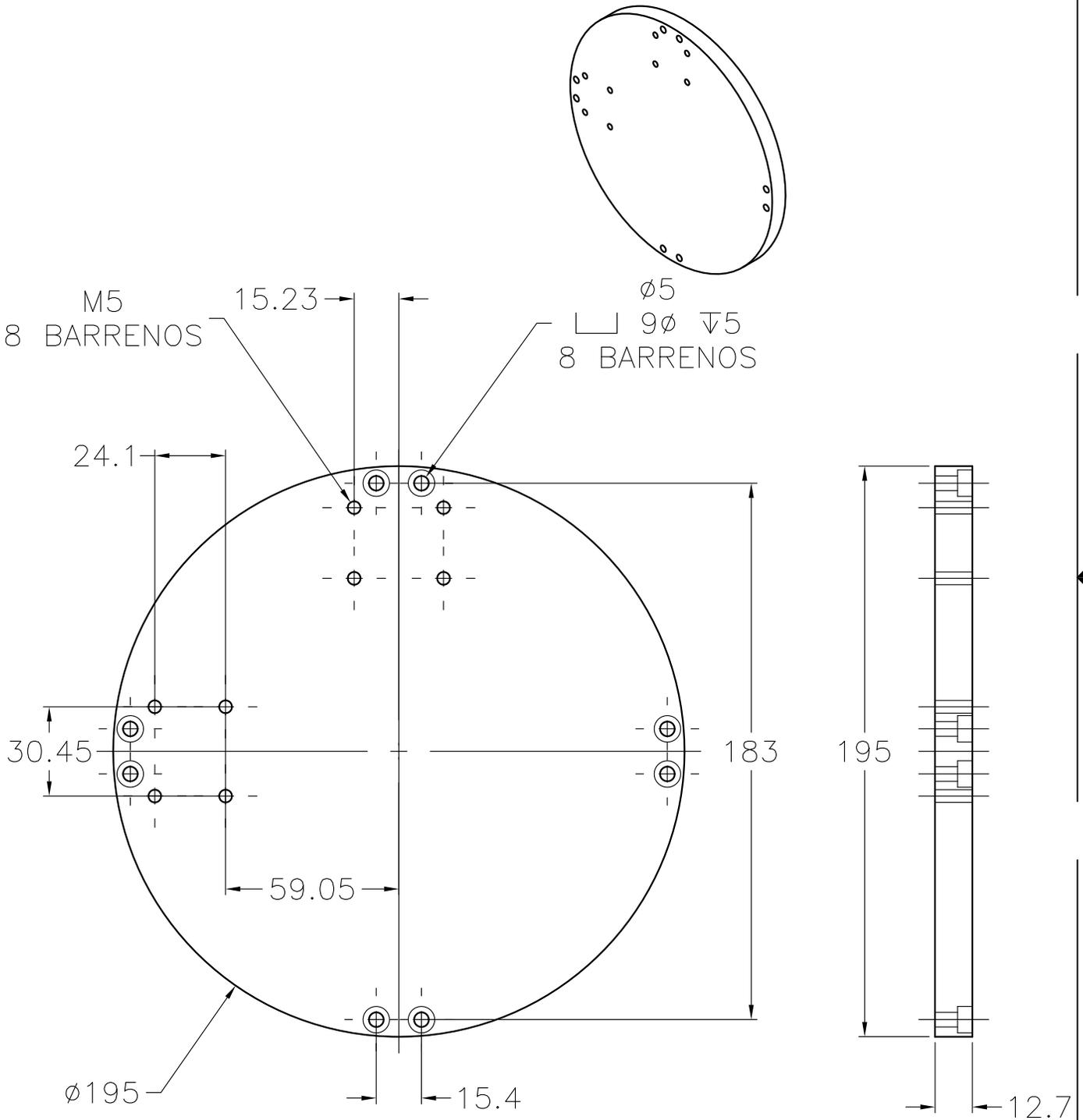
---.DWG

ESC: 1:3	ACOT: EN mm	DIB No. N-B		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO	APROB: ECC			
TITULO: Assembly drawing Base	OT: 004	REVISION: 0		

REF: 0000000

PAPER SIZE: A

ARCHIVO CAD: ---.DWG



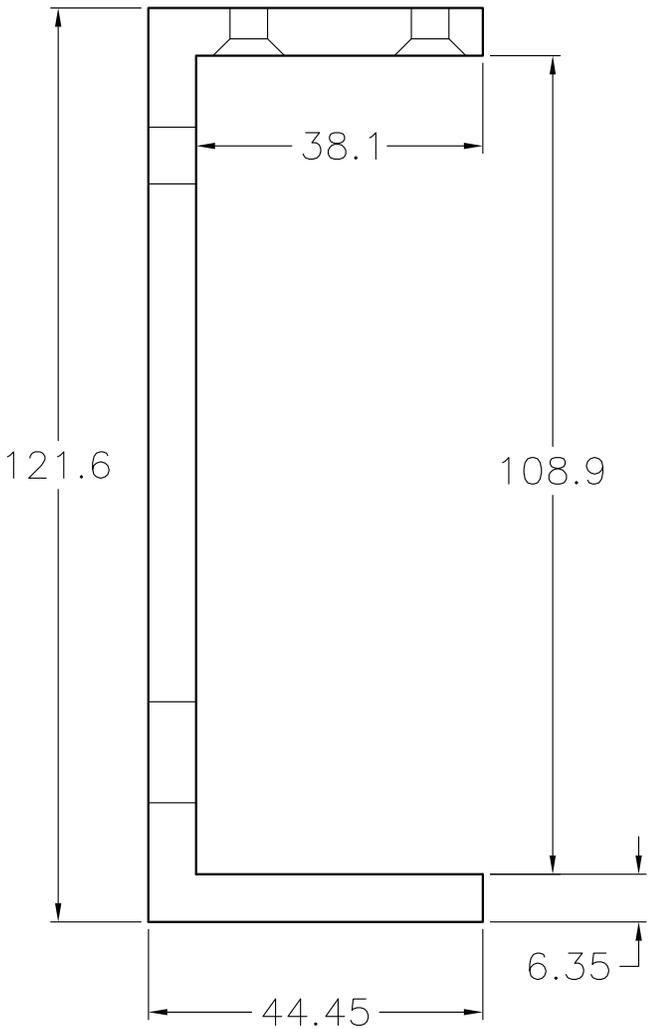
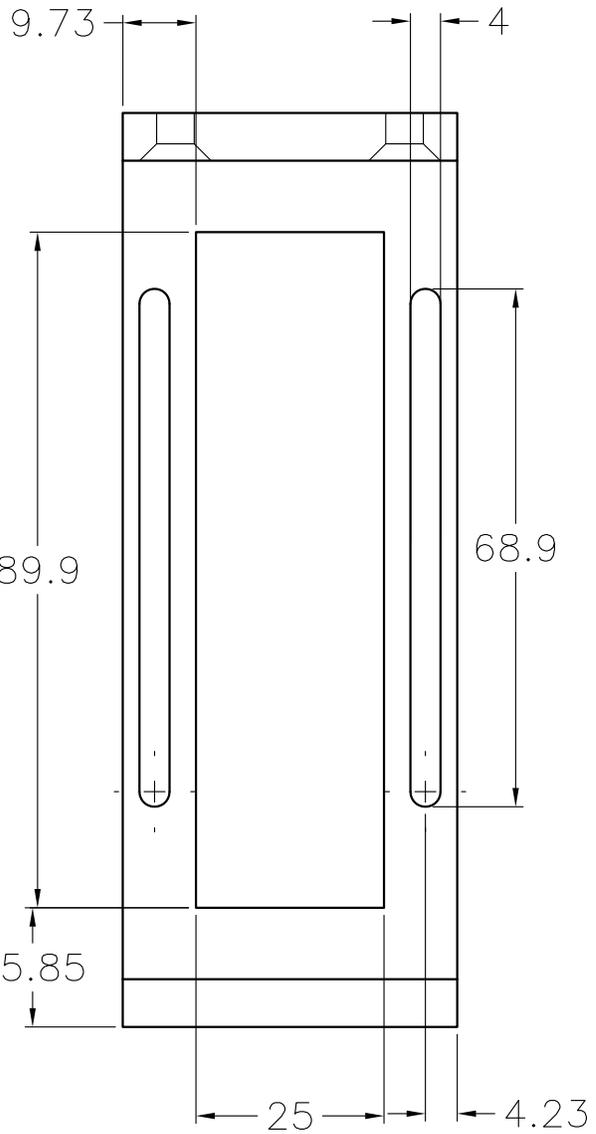
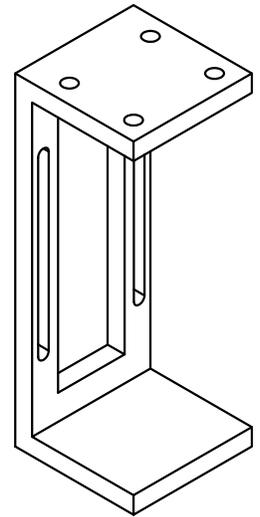
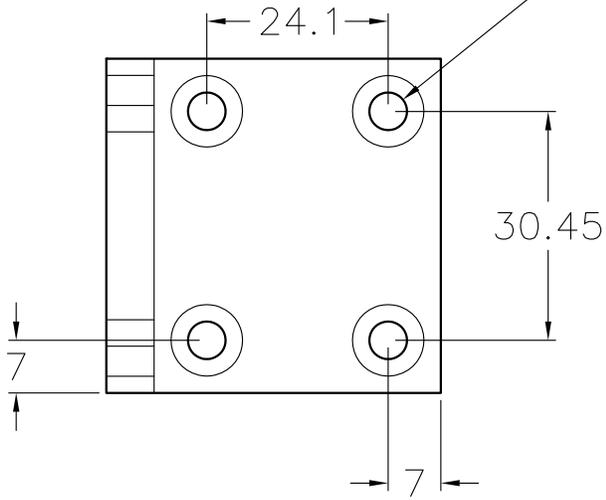
ESC: 1:2	ACOT: INDICADA	DIB No. N-B-D		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 09-10-09	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO.	APROB: ECC			
TITULO: DISCO BASE	OT: 004	REVISION: 0		

REF: 0000000

ESIME-UA-IM-08-A



$\phi 5 \sqrt{\phi 10}$
4 BARRENOS



PAPER SIZE: A

ARCHIVO CAD: ---.DWG

ESC: 1:1	ACOT: INDICADA	DIB No. N-B-BM		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 09-10-09	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO.	APROB: ECC			
TITULO: BASE MOTOR BASE	OT: 004	REVISION: 0		

REF: 0000000

ESIME-UA-IM-08-A

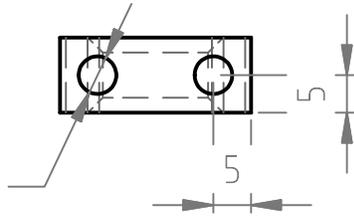


PAPER SIZE: A

ARCHIVO CAD: ---.DWG

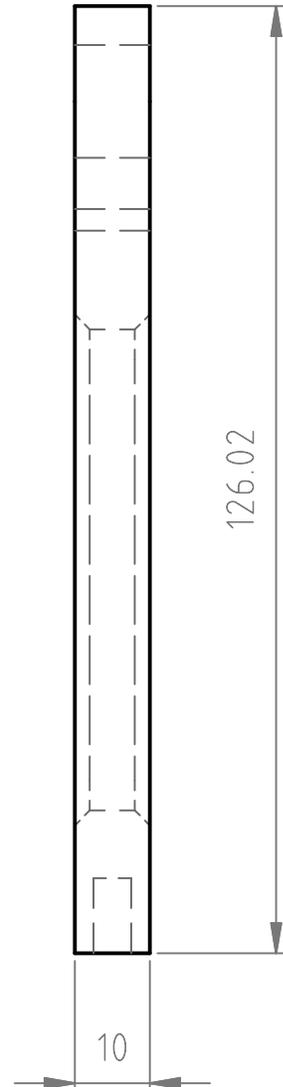
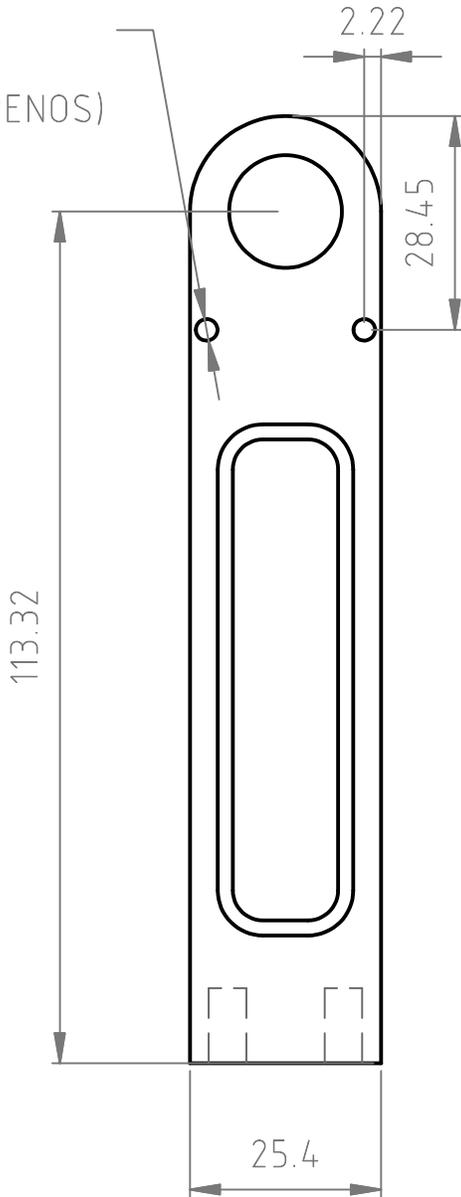
M5 ∇ 10

(2 BARRENOS)



M2

(2 BARRENOS)



ESC: 1:1	ACOT: EN mm	DIB No. N-B-001		TOLERANCIAS GRALES. 0 \pm 1 0.0 \pm 0.2 0.00 \pm 0.02 ANGULARES \pm 1°
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO		APROB: ECC		
TITULO: Pilar 2G Base		OT: 004	REVISION: 0	

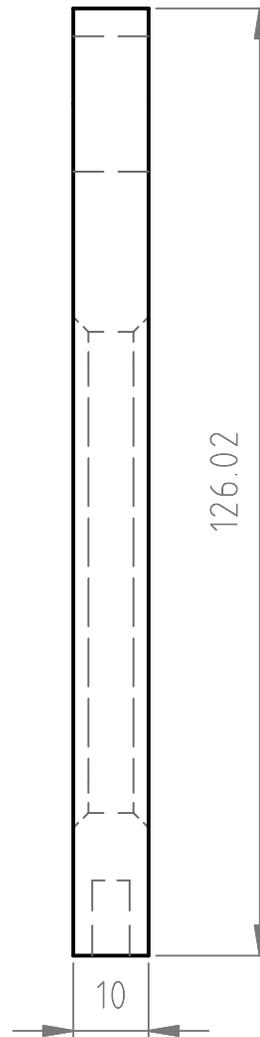
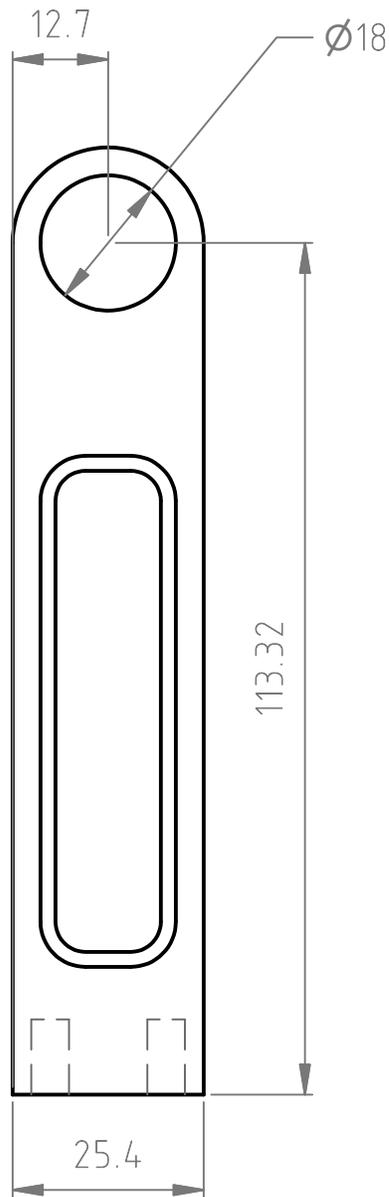
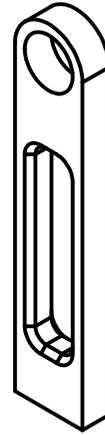
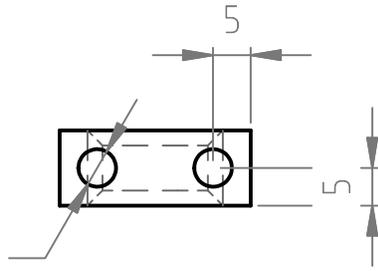
REF: 0000000

PAPER SIZE: A

ARCHIVO CAD: ---.DWG

M5 ∇ 10

(2 BARRENOS)



ESC: 1:1

ACOT: EN mm

DIB No. N-B-002

FECHA: 30-04-2010

DIBUJO: RVA

DISEÑO: RVA

CLIENTE: **CICATA QRO**

APROB: ECC

TITULO:

Pilar 2G-P
Base

OT:

004

REVISION:

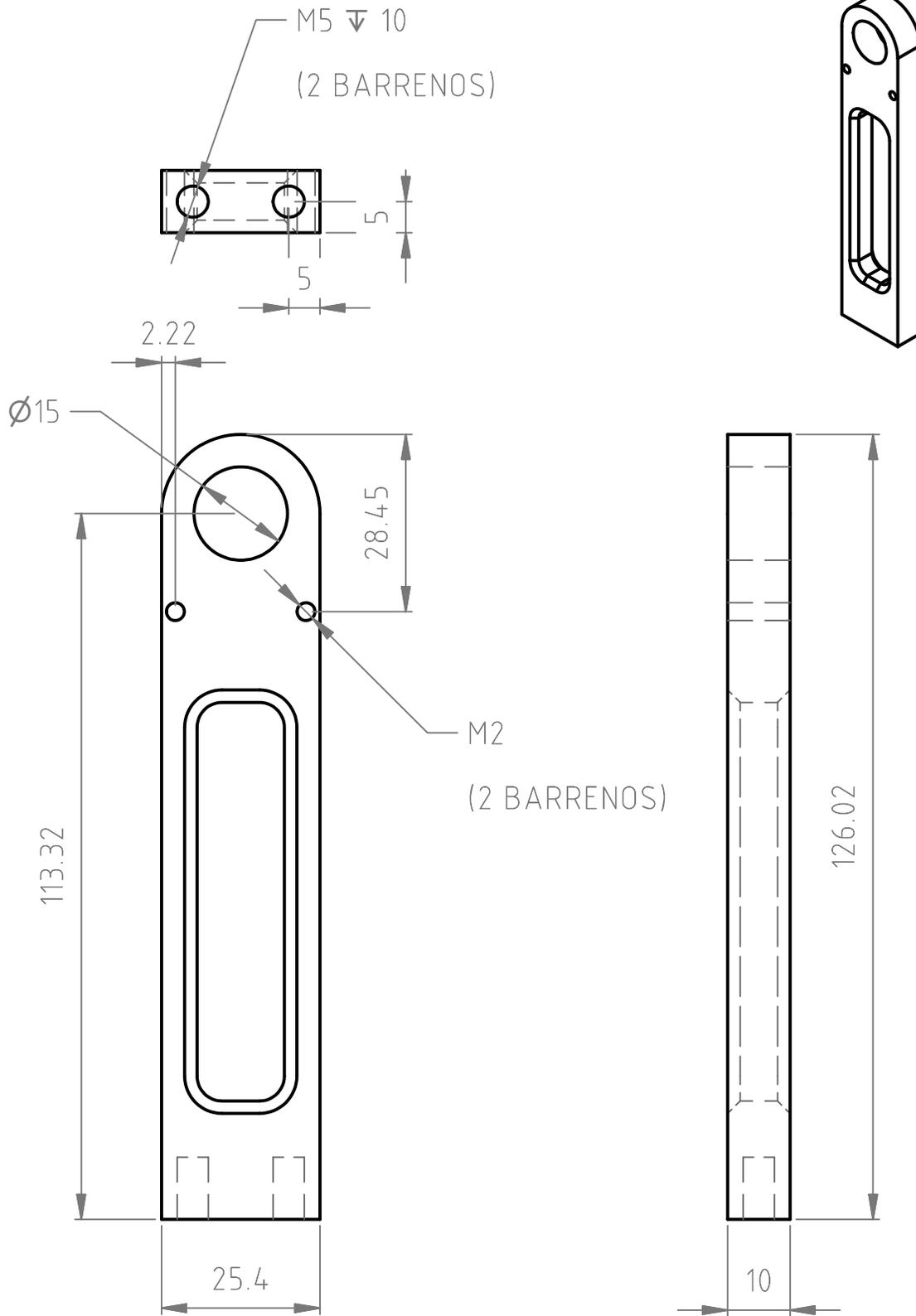
0

TOLERANCIAS GRALES.
0 \pm 1
0.0 \pm 0.2
0.00 \pm 0.02
ANGULARES \pm 1°

REF: 0000000

PAPER SIZE: A

ARCHIVO CAD: ----.DWG



ESC: 1:1	ACOT: EN mm	DIB No. N-B-003	
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA	
CLIENTE: CICATA QRO	APROB: ECC		
TITULO: Pilar 3G Base	OT: 004	REVISION: 0	

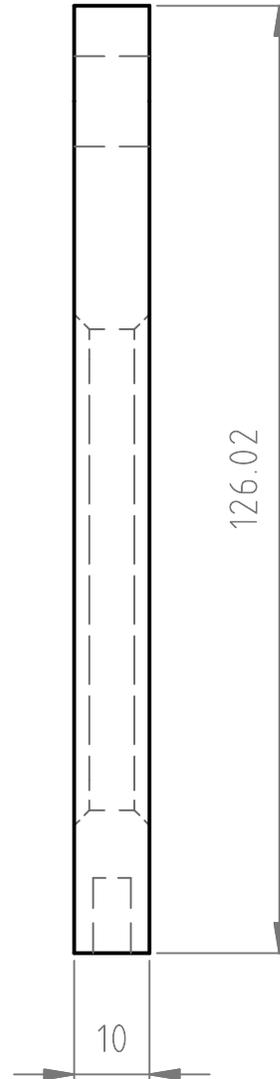
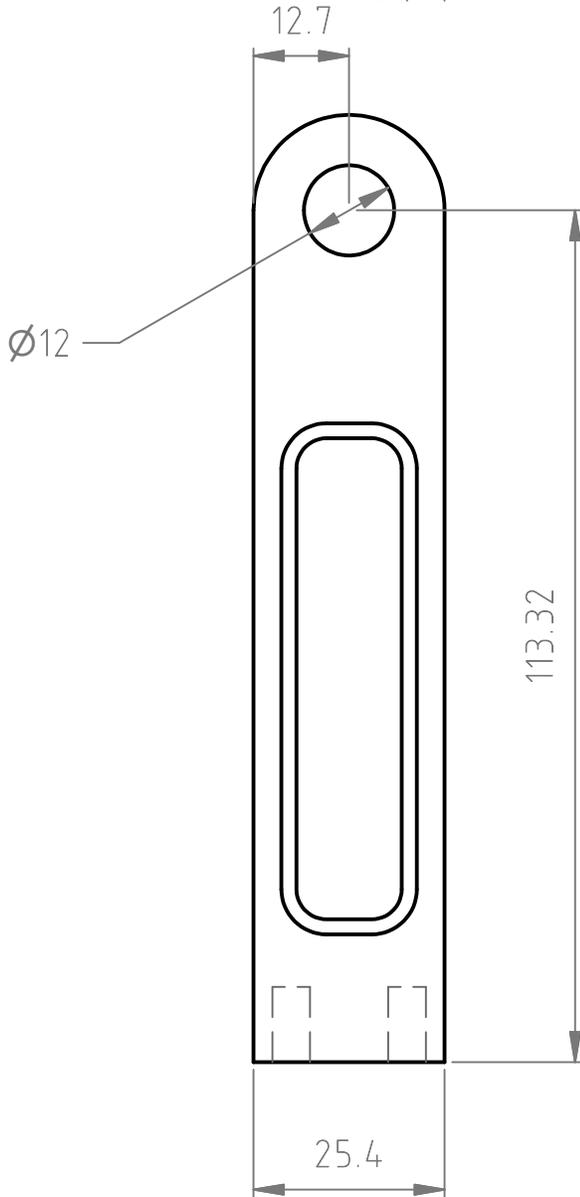
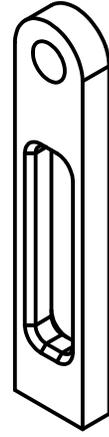
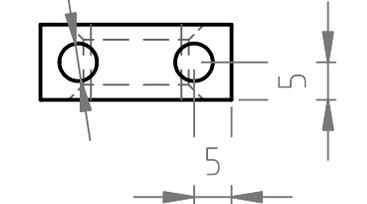
TOLERANCIAS GRALES.
0 \pm 1
0.0 \pm 0.2
0.00 \pm 0.02
ANGULARES \pm 1°

REF: 0000000

PAPER SIZE: A



M5 ∇ 10
(2 BARRENOS)



ARCHIVO CAD: ----.DWG

ESC: 1:1	ACOT: EN mm	DIB No. N-B-004	
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA	
CLIENTE: CICATA QRO	APROB: ECC		
TITULO: Pilar 3G-P Base	OT: 004	REVISION: 0	

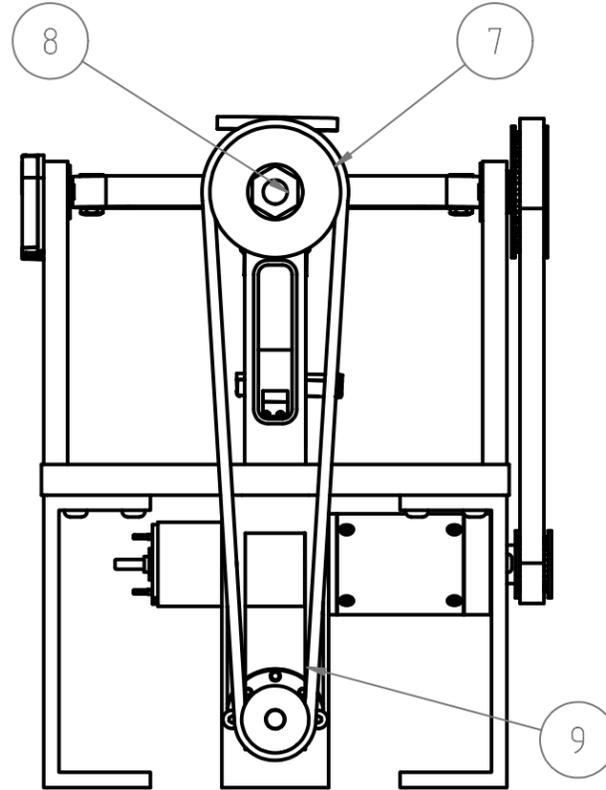
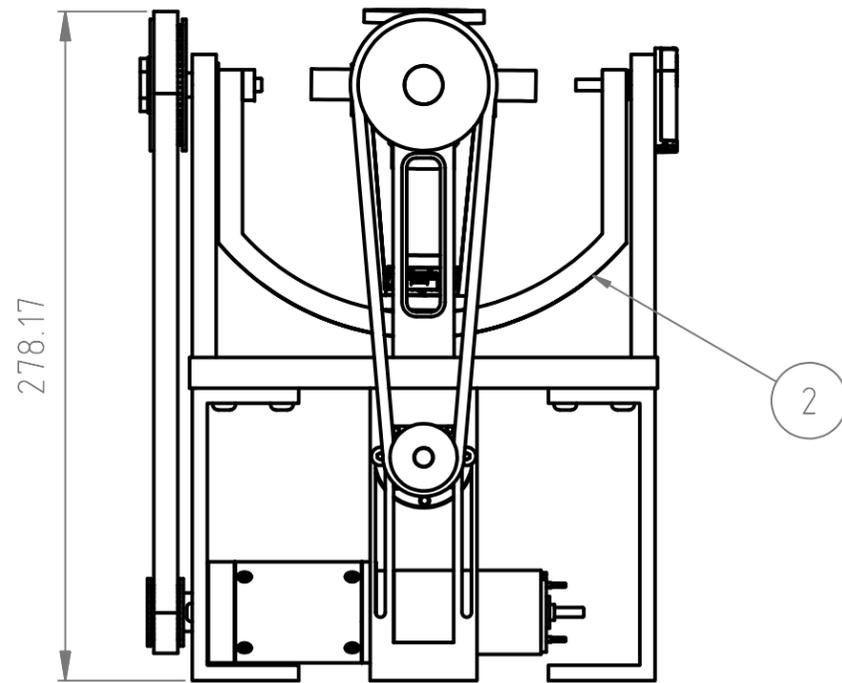
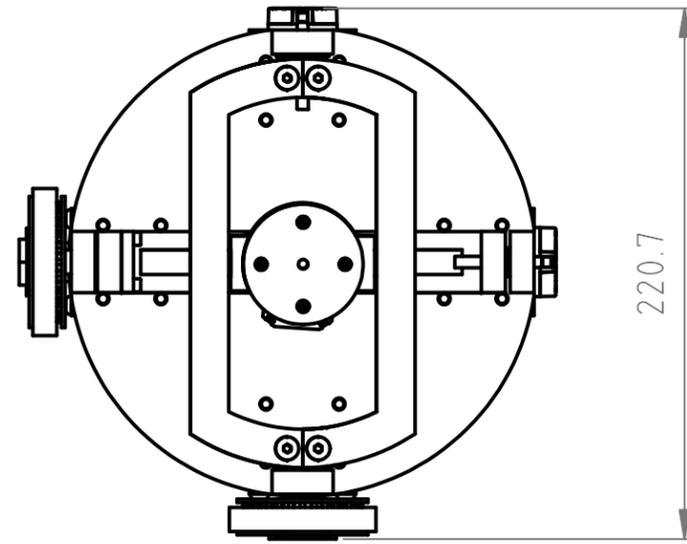
TOLERANCIAS GRALES.
0 \pm 1
0.0 \pm 0.2
0.00 \pm 0.02
ANGULARES \pm 1°

REF: 0000000

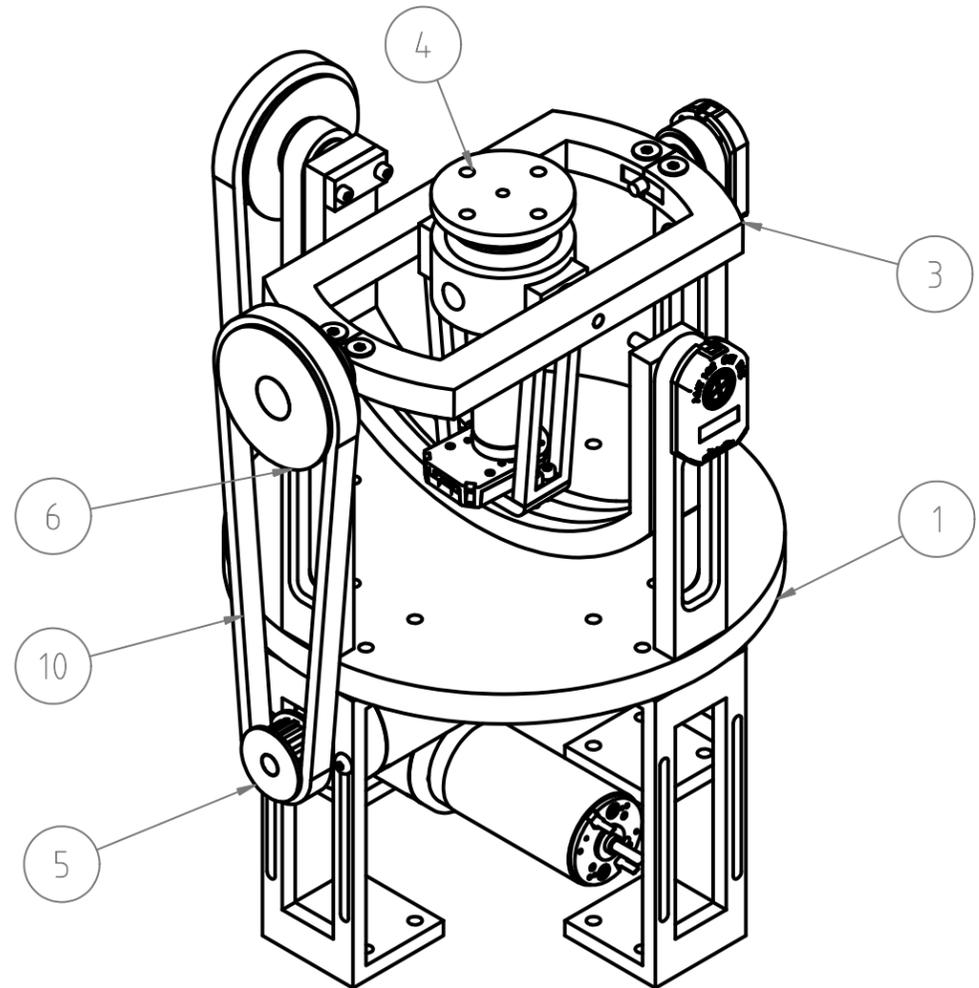


PAPER SIZE:

ARCHIVO CAD:



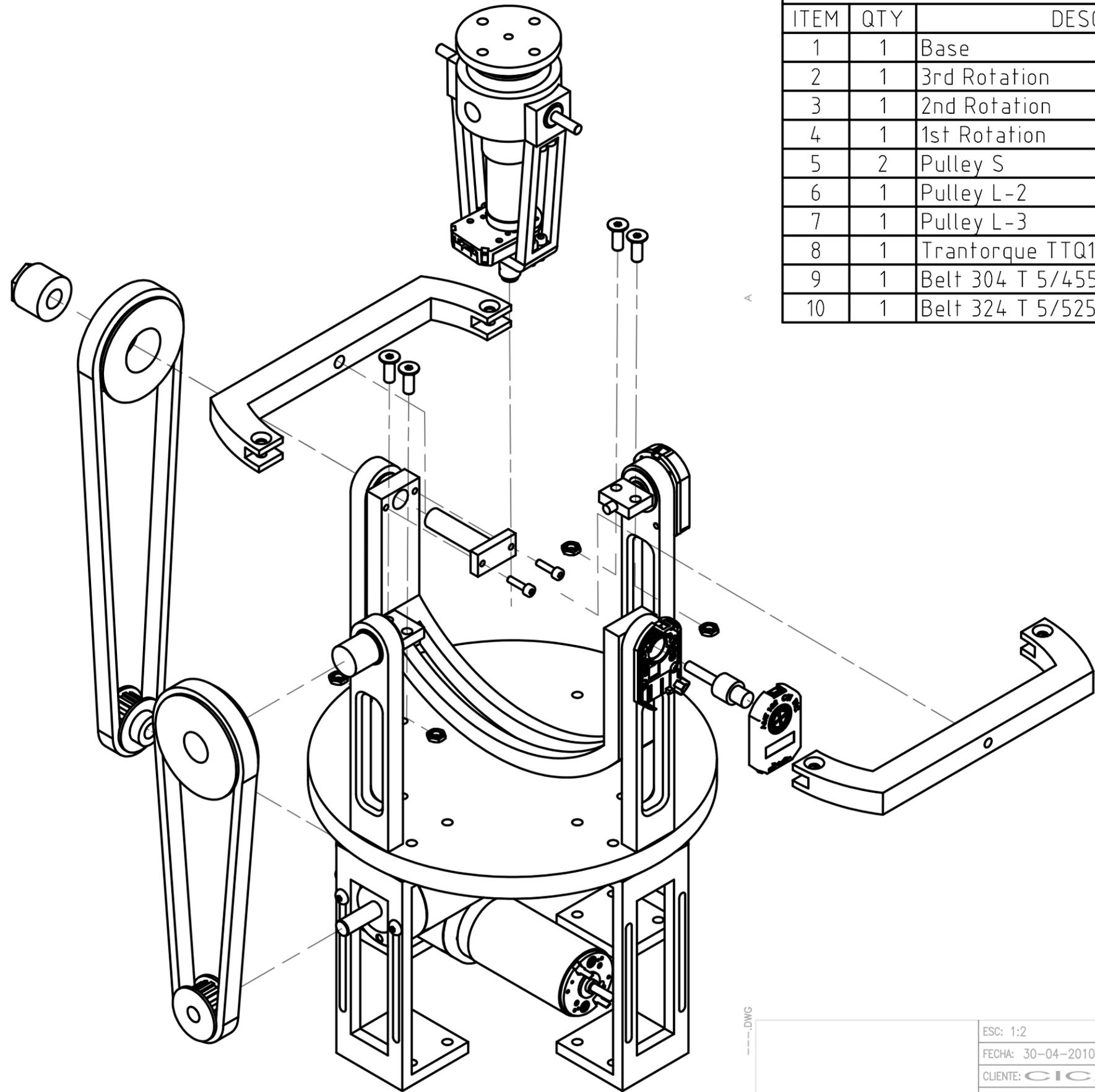
Parts List			
ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	Base	Random
2	1	3rd Rotation	Random
3	1	2nd Rotation	Random
4	1	1st Rotation	Random
5	2	Pulley S	Synchroflex
6	1	Pulley L-2	Synchroflex
7	1	Pulley L-3	Synchroflex
8	1	Trantorque TTQ1023	Trantorque
9	1	Belt 304 T 5/455	Synchroflex
10	1	Belt 324 T 5/525	Synchroflex



REF: 0000000	ESC: 1:3	ACOT: EN mm	DIB No. ARN		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
	FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
	CLIENTE: CICATA QRO	APROB: ECC		OT: 005	
	TITULO: Set drawing Artificial Neck Robot			REVISION: 0	

PAPER SIZE:

ARCHIVO CAD:



Parts List			
ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	Base	Random
2	1	3rd Rotation	Random
3	1	2nd Rotation	Random
4	1	1st Rotation	Random
5	2	Pulley S	Synchroflex
6	1	Pulley L-2	Synchroflex
7	1	Pulley L-3	Synchroflex
8	1	Trantorque TTQ1023	Trantorque
9	1	Belt 304 T 5/455	Synchroflex
10	1	Belt 324 T 5/525	Synchroflex

---.DWG

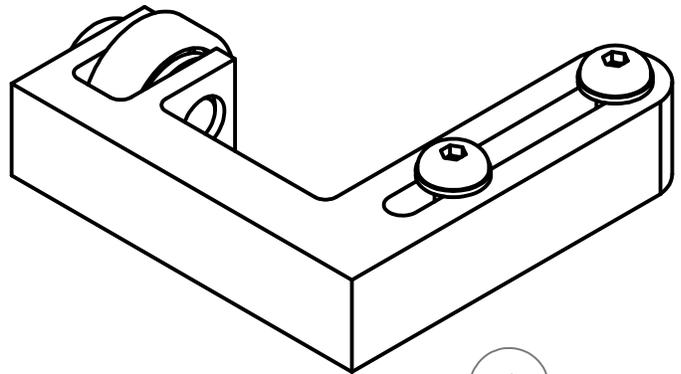
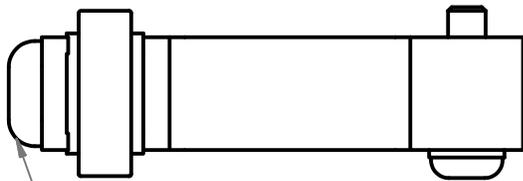
REF: 0000000

ESC: 1:2	ACOT: EN mm	DIB No. ARN		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO		APROB: ECC		
TITULO: Assembly drawing Artificial Neck Robot	OT: 005	REVISION: 0		

Parts List

ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	Tensor arm	Aluminium T6-6061
2	1	Rolling bearings	Commercial
3	2	Washer DIN 125 - 8.4	Commercial
4	1	H.Socket Button Head Cap Screw M8x16	Commercial
5	2	H.Socket Button Head Cap Screw M5x20	Commercial
6	2	Washer DIN 125 - 5.3	Commercial

PAPER SIZE: A



4

1

6

3

2

5

64.57

68.4

30

22

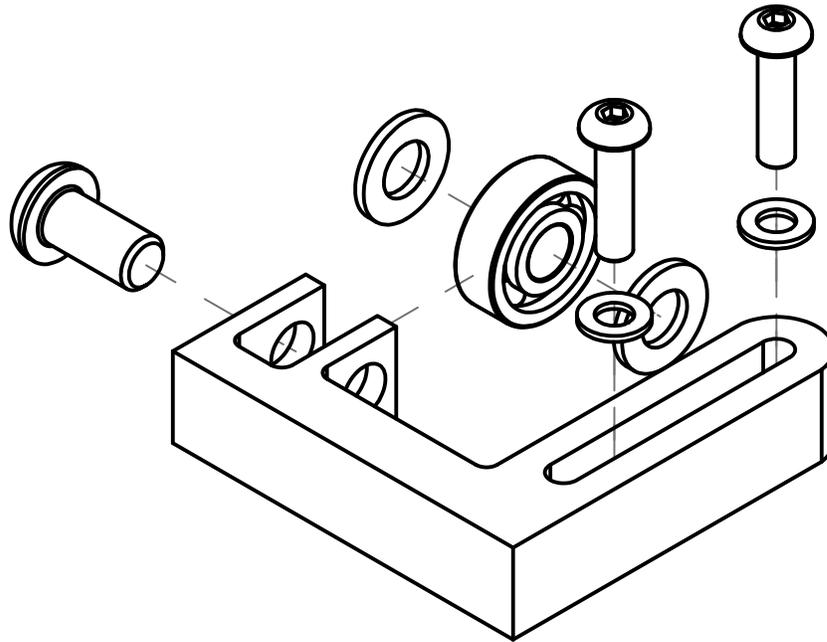
ARCHIVO CAD: ----.DWG

ESC: 1:1	ACOT: EN mm	DIB No. N-T		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO		APROB: ECC		
TITULO: Annotate drawing Tensor		OT: 006	REVISION: 0	

REF: 0000000

Parts List

ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	Tensor arm	Aluminium T6-6061
2	1	Rolling bearings	Commercial
3	2	Washer DIN 125 - 8.4	Commercial
4	1	H.Socket Button Head Cap Screw M8x16	Commercial
5	2	H.Socket Button Head Cap Screw M5x20	Commercial
6	2	Washer DIN 125 - 5.3	Commercial



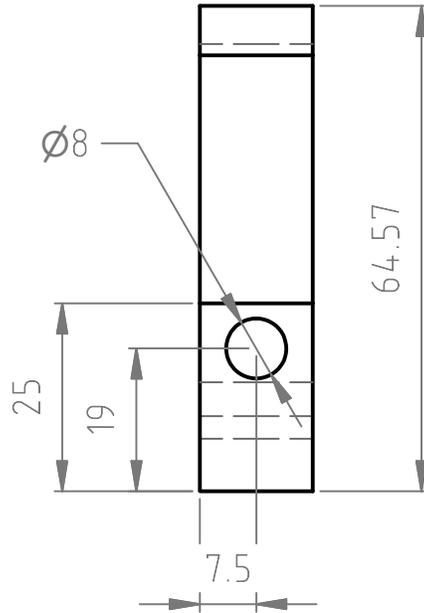
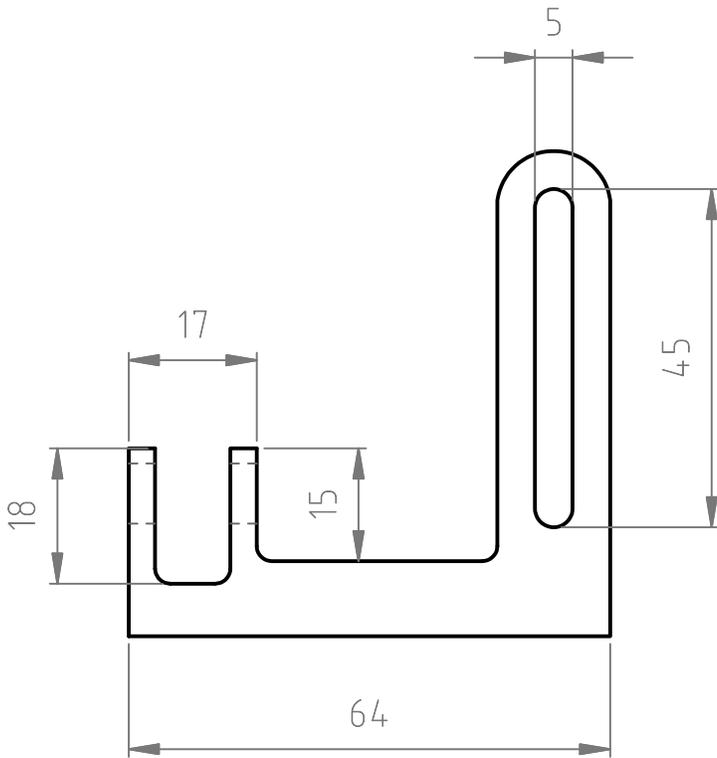
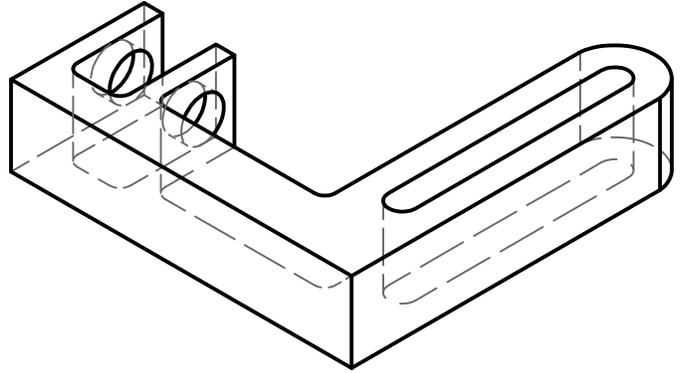
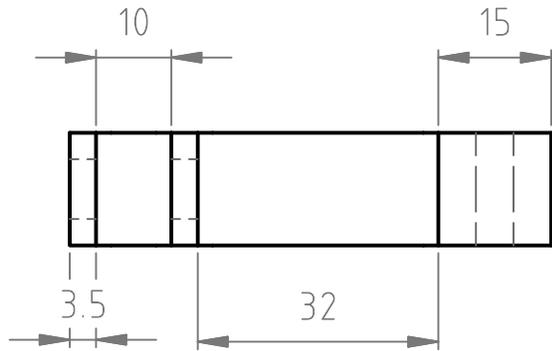
PAPER SIZE: A

ARCHIVO CAD: ----.DWG

ESC: 1:1	ACOT:EN mm	DIB No. N-T	
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA	
CLIENTE: CICATA QRO		APROB: ECC	
TITULO: Assembly drawing Tensor	OT: 006	REVISION: 0	

TOLERANCIAS GRALES.
 0 ± 1
 0.0 ± 0.2
 0.00 ± 0.02
 ANGULARES ± 1°

PAPER SIZE: A

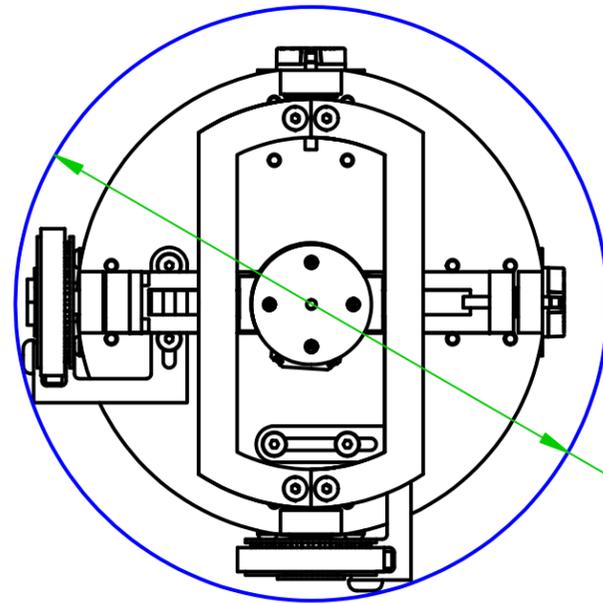


ARCHIVO CAD: ---.DWG

ESC: 1:1	ACOT: EN mm	DIB No. N-T-001		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CICATA QRO		APROB: ECC		
TITULO: Tensor Arm Tensor		OT: 006	REVISION: 0	

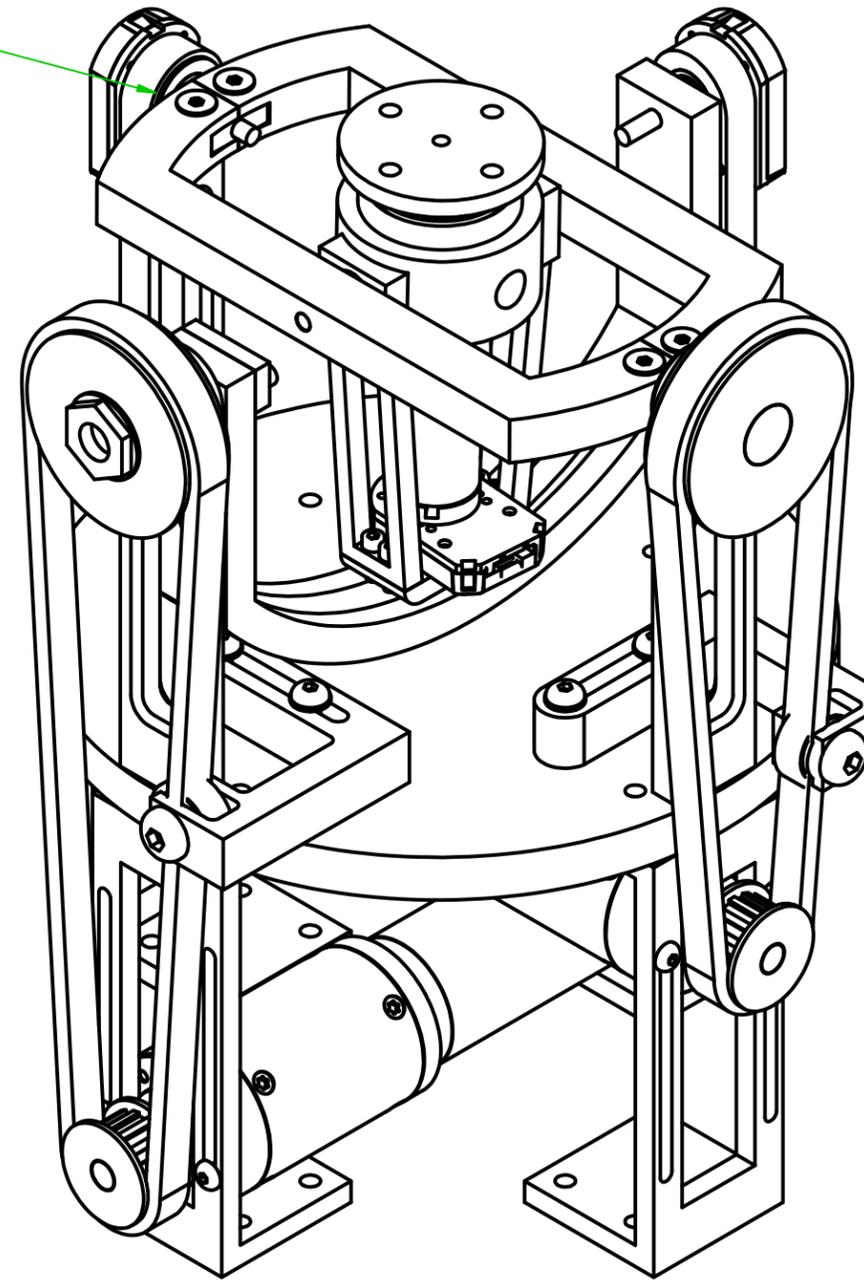
REF: 0000000

Parts List			
ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	Artificial Neck-Robot	Random
11	2	Tensor A1	Random

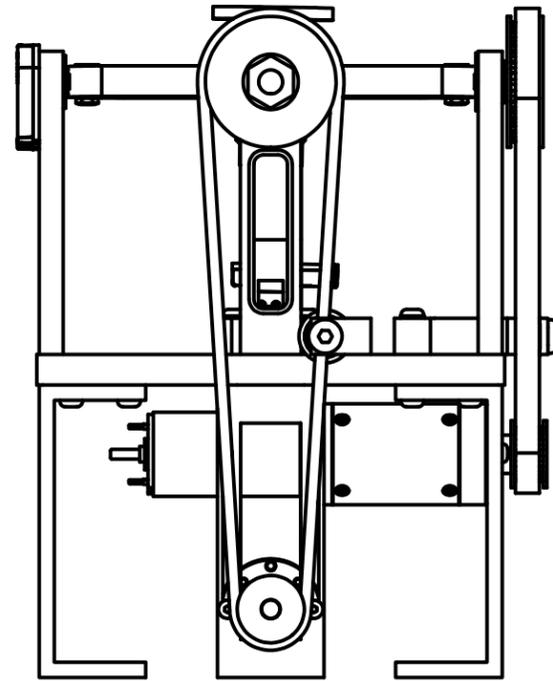
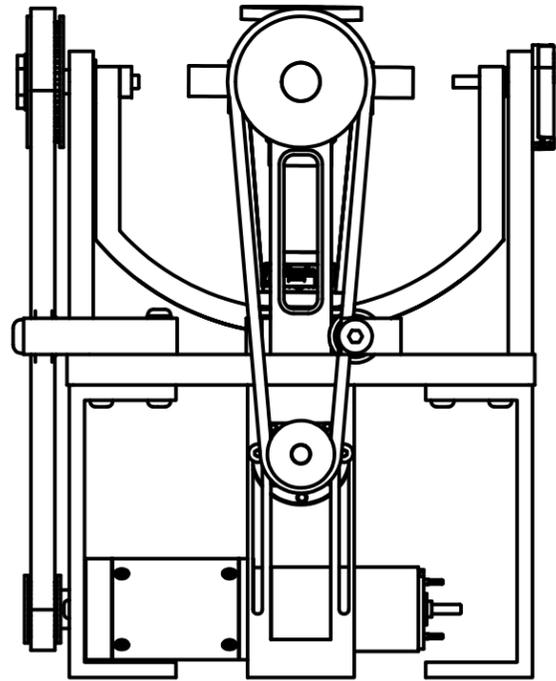


Ø82.27
MAX

1



11



PAPER SIZE:

ARCHIVO CAD:

---.DWG

REF: 000000

ESC: 1:3	ACOT: EN mm	DIB No. N-ANR-T		TOLERANCIAS GRALES. 0 ± 1 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.02 ANGULARES ± 1°
FECHA: 30-04-2010	DIBUJO: RVA	DISEÑO: RVA		
CLIENTE: CIGATA QRO		APROB: ECC		
TITULO: Set drawing ANR-T		OT: 006	REVISION: 0	



A2 “NMC-LIB Constantes”



A3 “NMC-LIB Funciones”



A4 “NMC-LIB”



A5 “PUBLICACIONES”