



industriales  
etsii

Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

## DESARROLLO DE UN ROBOT DELTA

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

**Autor:** Alejandro Liza Borja  
**Director:** Jorge Juan Feliu Batlle  
**Codirector:** José Luis Muñoz Lozano

Cartagena, 21 de septiembre de 2016



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena





# INDICE GENERAL

## Contenido

---

1	Estado del Arte .....	7
1.1	Historia de la robótica. Introducción .....	10
1.2	Historia de la robótica. Principales hitos.....	11
1.3	Historia de la robótica. Automatización y robótica .....	13
1.4	Historia de la robótica. Clasificación .....	16
1.4.1	Según su cronología .....	16
1.4.2	Según su estructura.....	17
1.5	Historia de la robótica. Aplicaciones.....	18
1.5.1	Aplicación de transferencia de material .....	19
1.5.2	Operaciones de procesamiento. ....	20
1.5.3	Otras Operaciones de proceso .....	22
1.6	El robot paralelo tipo Delta .....	27
2	Cinemática de Robot Delta.....	29
2.1	Introducción .....	32
2.2	Geometría directa .....	34
2.3	Límites geométricos del espacio de trabajo.....	38
2.4	Calculo de límites geométricos .....	40
3.	Desarrollo mecánico.....	43
3.1.	Sistemas CAD.....	46
3.2.	Planos de fabricación .....	47
3.2.1	Barras de aluminio .....	49
3.2.2	Brazo corto superior.....	50
3.2.3	Base superior fija.....	51
3.2.4	Soporte de servo .....	52
3.2.5	Sujeción corta .....	53
3.2.6	Sujeción larga .....	54

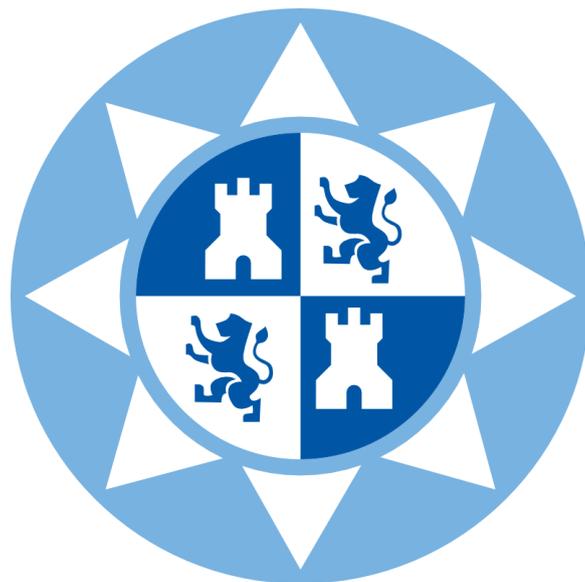
3.2.7	Base inferir móvil.....	55
3.2.8	Soporte herramienta .....	56
3.2.9	Estructura Robot Delta .....	57
3.3.	Instrucciones de montaje .....	58
3.4.	Calculo de torque necesario.....	62
4.	Desarrollo electrónico.....	67
4.1	Introducción .....	69
4.2	Planos electrónicos .....	70
4.2.1	Alimentación .....	71
4.2.2	Control.....	72
4.2.3	Mando .....	73
4.2.4	Servos .....	74
4.2.5	Anotaciones.....	75
5	Programación y HMI.....	77
5.1	Introducción .....	80
5.1.1	HMI.....	80
5.2	Pantalla.....	81
5.3	Código.....	83
6	Presupuesto .....	85
7	Conclusiones y futuros desarrollos .....	87
8	Bibliografía .....	89



Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

# 1 Estado del Arte

---



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

TFG

ALEJANDRO LIZA BORJA

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## Contenido

---

1	Estado del Arte .....	7
1.1	Historia de la robótica. Introducción .....	10
1.2	Historia de la robótica. Principales hitos.....	11
1.3	Historia de la robótica. Automatización y robótica .....	13
1.4	Historia de la robótica. Clasificación .....	16
1.4.1	Según su cronología .....	16
1.4.2	Según su estructura.....	17
1.5	Historia de la robótica. Aplicaciones.....	18
1.5.1	Aplicación de transferencia de material .....	19
1.5.2	Operaciones de procesamiento. ....	20
1.5.3	Otras Operaciones de proceso.....	22
1.6	El robot paralelo tipo Delta .....	27

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## 1.1 Historia de la robótica. Introducción

---

La robótica es un concepto de dominio público. La mayor parte de la gente tiene una idea de lo que es la robótica, sabe sus aplicaciones y el potencial que tiene; sin embargo, no conocen el origen de la palabra robot, ni tienen idea del origen de las aplicaciones útiles de la robótica como ciencia.

La robótica como hoy en día la conocemos, tiene sus orígenes hace miles de años. Nos basaremos en hechos registrados a través de la historia, y comenzaremos aclarando que antiguamente los robots eran conocidos con el nombre de autómatas, y la robótica no era reconocida como ciencia, es más, la palabra robot surgió mucho después del origen de los autómatas.

Desde el principio de los tiempos, el hombre ha deseado crear vida artificial. Se ha empeñado en dar vida a seres artificiales que le acompañen en sus vidas, seres que realicen sus tareas repetitivas, tareas pesadas o difíciles de realizar por un ser humano. De acuerdo a algunos autores, como J. J. C. Smart y Jasia Reichardt, consideran que el primer autómata en toda la historia fue Adán creado por Dios. De acuerdo a esto, Adán y Eva son los primeros autómatas inteligentes creados, y Dios fue quien los programó y les dio sus primeras instrucciones que debieran de seguir. Dentro de la mitología griega se puede encontrar varios relatos sobre la creación de vida artificial, por ejemplo, Prometeo creó el primer hombre y la primera mujer con barro y animados con el fuego de los cielos. De esta manera nos damos cuenta de que la humanidad tiene la obsesión de crear vida artificial desde el principio de los tiempos. Muchos han sido los intentos por lograrlo.

Los hombres creaban autómatas como un pasatiempo, eran creados con el fin de entretener a su dueño. Los materiales que se utilizaban se encontraban al alcance de todo el mundo, esto es, utilizaban maderas resistentes, metales como el cobre y cualquier otro material moldeable, esto es, que no necesitara o requiriera de algún tipo de transformación para poder ser utilizado en la creación de los autómatas.

Estos primeros autómatas utilizaban, principalmente, la fuerza bruta para poder realizar sus movimientos. A las primeras máquinas herramientas que ayudaron al hombre a facilitarle su trabajo no se les daba el nombre de autómata, sino más bien se les reconocía como artefactos o simples máquinas.

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## 1.2 Historia de la robótica. Principales hitos

Fecha	Importancia	Nombre del robot	Inventor
<u>Siglo I a. C.</u> y antes	Descripciones de más de 100 máquinas y autómatas, incluyendo un artefacto con fuego, un órgano de viento, una máquina operada mediante una moneda, una máquina de vapor, en <i>Pneumática</i> y <i>Autómata</i> de <u>Herón de Alejandría</u>	Autómata	<u>Ctesibio</u> de Alejandría, <u>Filón de Bizancio</u> , <u>Herón de Alexandria</u> , y otros
c. 1495	Diseño de un robot humanoide	<u>Caballero mecánico</u>	<u>Leonardo da Vinci</u>
1738	Pato mecánico capaz de comer, agitar sus alas y excretar.	<u>Digesting Duck</u>	<u>Jacques de Vaucanson</u>
<u>1800s</u>	Juguetes mecánicos japoneses que sirven té, disparan flechas y pintan.	Juguetes <i>Karakuri</i>	<u>Hisashige Tanaka</u>
1921	Aparece el primer <u>autómata</u> de ficción llamado "robot", aparece en <i>R.U.R.</i>	Rossum's Universal Robots	<u>Karel Čapek</u>
<u>1930s</u>	Se exhibe un robot humanoide en la <u>Exposición Universal</u> entre los años 1939 y 1940	<u>Elektro</u>	<u>Westinghouse Electric Corporation</u>
1942	La revista <i>Astounding Science Fiction</i> publica "Círculo Vicioso" ( <i>Runaround</i> en inglés). Una historia de ciencia ficción donde se da a conocer las <u>Tres leyes de la robótica</u>	SPD-13 (apodado "Speedy")	<u>Isaac Asimov</u>
1948	Exhibición de un robot con comportamiento biológico simple <sup>5</sup>	Elsie y Elmer	<u>William Grey Walter</u>
1956	Primer robot comercial, de la compañía Unimation fundada por <u>George</u>	<u>Unimate</u>	<u>George Devol</u>

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

	<u>Devol y Joseph Engelberger</u> , basada en una patente de Devol <sup>6</sup>		
1961	Se instala el primer robot industrial	<u>Unimate</u>	<u>George Devol</u>
1963	Primer robot "palletizing" <sup>7</sup>		
1973	Primer robot con seis ejes electromecánicos	Famulus	<u>KUKA Robot Group</u>
1975	Brazo manipulador programable universal, un producto de Unimation	<u>PUMA</u>	<u>Victor Scheinman</u>
1982	<u>El robot completo</u> (The Complete Robot en inglés). Una colección de cuentos de ciencia ficción de Isaac Asimov, escritos entre 1940 y 1976, previamente publicados en el libro <u>Yo, robot</u> y en otras antologías, volviendo a explicar las <u>tres leyes de la robótica</u> con más ahínco y complejidad moral. Incluso llega a plantear la muerte de un ser humano por la mano de un robot con las tres leyes programadas, por lo que decide incluir una cuarta ley "La ley 0 (cero)"	Robbie, SPD-13 (Speedy), QT1 (Cutie), DV-5 (Dave), RB-34 (Herbie), NS-2 (Nestor), NDR (Andrew), Daneel Olivaw	<u>Isaac Asimov</u>
2000	<u>Robot Humanoide</u> capaz de desplazarse de forma bípeda e interactuar con las personas	<u>ASIMO</u>	<u>Honda Motor Co. Ltd</u>

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

### 1.3 Historia de la robótica. Automatización y robótica

La historia de la automatización industrial está caracterizada por períodos de constantes innovaciones tecnológicas. Esto se debe a que las técnicas de automatización están muy ligadas a los sucesos económicos mundiales.

El uso de robots industriales junto con los sistemas de diseño asistidos por computadora (CAD), y los sistemas de fabricación asistidos por computadora (CAM), son la última tendencia en automatización de los procesos de fabricación y luego se cargaban en el robot. Éstas tecnologías conducen a la automatización industrial a otra transición, de alcances aún desconocidos.

Aunque el crecimiento del mercado de la industria Robótica ha sido lento en comparación con los primeros años de la década de los 80's, de acuerdo a algunas predicciones, la industria de la robótica está en su infancia. Ya sea que éstas predicciones se realicen completamente, o no, es claro que la industria robótica, en una forma o en otra, permanecerá.

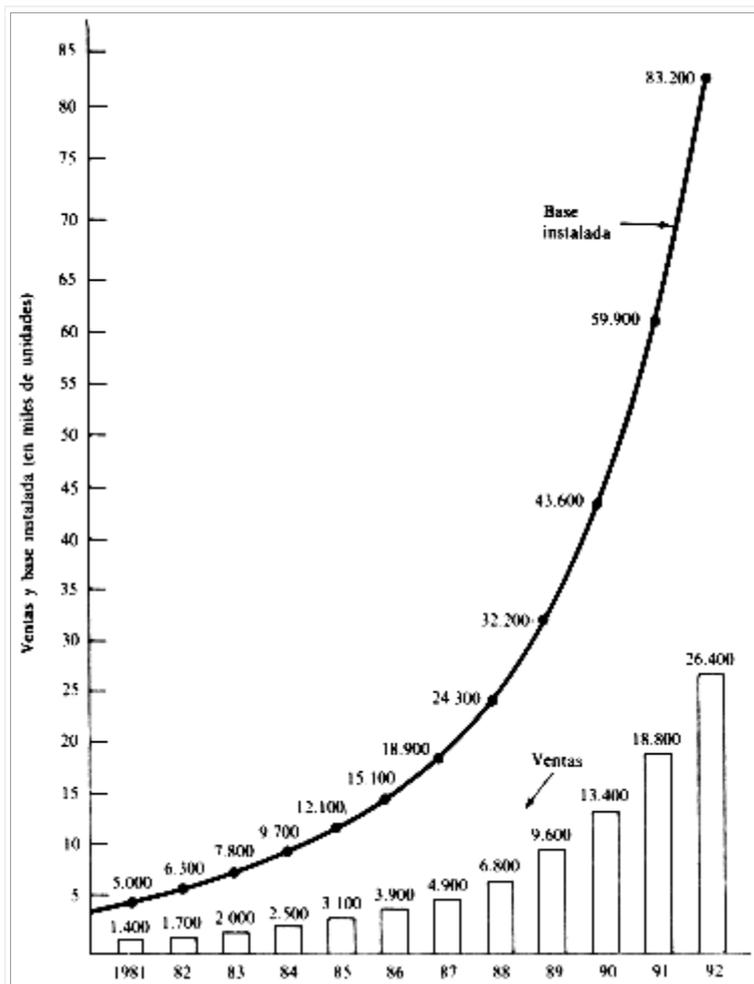


Fig 1. Ventas de industria robótica

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

En la actualidad el uso de los robots industriales está concentrado en operaciones muy simples, como tareas repetitivas que no requieren tanta precisión. La Fig. 1 refleja el hecho de que en los 80's las tareas relativamente simples como las máquinas de inspección, transferencia de materiales, pintado automatizado, y soldadura son económicamente viables para ser robotizadas. Los análisis de mercado en cuanto a fabricación predicen que en ésta década y en las posteriores los robots industriales incrementarán su campo de aplicación, esto debido a los avances tecnológicos en sensorica, los cuales permitirán tareas más sofisticadas como el ensamble de materiales.

Como se ha observado la automatización y la robótica son dos tecnologías estrechamente relacionadas. En un contexto industrial se puede definir la automatización como una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos-eléctricos basados en computadoras para la operación y control de la producción. En consecuencia, la robótica es una forma de automatización industrial.

Hay tres clases muy amplias de automatización industrial: automatización fija, automatización programable, y automatización flexible.

La automatización fija se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, y por tanto se puede justificar económicamente el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas. Además de esto, otro inconveniente de la automatización fija es su ciclo de vida que va de acuerdo a la vigencia del producto en el mercado.

La automatización programable se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse a las variaciones de configuración del producto; ésta adaptación se realiza por medio de un programa (Software).

La automatización flexible, por su parte, es más adecuada para un rango de producción medio. Estos sistemas flexibles poseen características de la automatización fija y de la automatización programada.

Los sistemas flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo interconectadas entre sí por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora.

De los tres tipos de automatización, la robótica coincide más estrechamente con la automatización programable.

En tiempos más recientes, el control numérico y la telequerica son dos tecnologías importantes en el desarrollo de la robótica. El control numérico (NC) se desarrolló para máquinas herramienta a finales de los años 40 y principios de los 50's. Como su nombre lo indica, el control numérico implica el control de acciones de una máquina-herramienta por medio de números. Está basado en el trabajo original de Jhon Parsons, que concibió el empleo de tarjetas perforadas, que contienen datos de posiciones, para controlar los ejes de una máquina-herramienta.

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

El campo de la telequerica abarca la utilización de un manipulador remoto controlado por un ser humano.

A veces denominado teleoperador, el operador remoto es un dispositivo mecánico que traduce los movimientos del operador humano en movimientos correspondientes en una posición remota. A Goertz se le acredita el desarrollo de la telequerica. En 1948 construyó un mecanismo manipulador bilateral maestro-esclavo en el Argonne National Laboratory. El empleo más frecuente de los teleoperadores se encuentra en la manipulación de sustancias radiactivas, o peligrosas para el ser humano.

La combinación del control numérico y la telequerica es la base que constituye al robot modelo. Hay dos individuos que merecen el reconocimiento de la confluencia de éstas dos tecnologías y el personal que podía ofrecer en las aplicaciones industriales. El primero fue un inventor británico llamado Cyril Walter Kenward, que solicitó una patente británica para un dispositivo robótico en marzo de 1954. (El esquema se muestra abajo).

La segunda persona citada es George C. Devol, inventor americano, al que debe atribuirse dos invenciones que llevaron al desarrollo de los robots hasta nuestros días. La primera invención consistía en un dispositivo para grabar magnéticamente señales eléctricas y reproducirlas para controlar una máquina. La segunda invención se denominaba Transferencia de Artículos Programada.



**Fig. 2 Cyril Walter Kenward y George C. Devol**

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

Un robot industrial es una máquina programable de uso general que tiene algunas características antropomórficas o "humanoides". Las características humanoides más típicas de los robots actuales es la de sus brazos móviles, los que se desplazarán por medio de secuencias de movimientos que son programados para la ejecución de tareas de utilidad.

La definición oficial de un robot industrial se proporciona por la Robotics Industries Association (RIA), anteriormente el Robotics Institute of América.

*"Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable diseñado para desplazar materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, mediante movimientos variables programados para la ejecución de una diversidad de tareas".*

Se espera en un futuro no muy lejano que la tecnología en robótica se desplace en una dirección que sea capaz de proporcionar a éstas máquinas capacidades más similares a las humanas.

## 1.4 Historia de la robótica. Clasificación

---

### 1.4.1 Según su cronología

La que a continuación se presenta es la clasificación más común:

- **1.<sup>a</sup> Generación.**

Manipuladores. Son sistemas mecánicos multifuncionales con un sencillo sistema de control, bien manual, de secuencia fija o de secuencia variable.

- **2.<sup>a</sup> Generación.**

Robots de aprendizaje. Repiten una secuencia de movimientos que ha sido ejecutada previamente por un operador humano. El modo de hacerlo es a través de un dispositivo mecánico. El operador realiza los movimientos requeridos mientras el robot le sigue y los memoriza.

- **3.<sup>a</sup> Generación.**

Robots con control sensorizado. El controlador es una computadora que ejecuta las órdenes de un programa y las envía al manipulador para que realice los movimientos necesarios.

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

- **4.ª Generación.**

Robots inteligentes. Son similares a los anteriores, pero además poseen sensores que envían información a la computadora de control sobre el estado del proceso. Esto permite una toma inteligente de decisiones y el control del proceso en tiempo real.

#### 1.4.2 Según su estructura

La estructura, es definida por el tipo de configuración general del Robot, puede ser metamórfica. El concepto de metamorfismo, de reciente aparición, se ha introducido para incrementar la flexibilidad funcional de un Robot a través del cambio de su configuración por el propio Robot. El metamorfismo admite diversos niveles, desde los más elementales (cambio de herramienta o de efecto terminal), hasta los más complejos como el cambio o alteración de algunos de sus elementos o subsistemas estructurales. Los dispositivos y mecanismos que pueden agruparse bajo la denominación genérica del Robot, tal como se ha indicado, son muy diversos y es por tanto difícil establecer una clasificación coherente de los mismos que resista un análisis crítico y riguroso. La subdivisión de los Robots, con base en su arquitectura, se hace en los siguientes grupos: poliarticulados, móviles, androides, zoomórficos e híbridos.

- **1. Poliarticulados**

En este grupo se encuentran los Robots de muy diversa forma y configuración, cuya característica común es la de ser básicamente sedentarios (aunque excepcionalmente pueden ser guiados para efectuar desplazamientos limitados) y estar estructurados para mover sus elementos terminales en un determinado espacio de trabajo según uno o más sistemas de coordenadas, y con un número limitado de grados de libertad. En este grupo, se encuentran los manipuladores, los Robots industriales, los Robots cartesianos y se emplean cuando es preciso abarcar una zona de trabajo relativamente amplia o alargada, actuar sobre objetos con un plano de simetría vertical o reducir el espacio ocupado en el suelo.

- **2. Móviles**

Son Robots con gran capacidad de desplazamiento, basados en carros o plataformas y dotados de un sistema locomotor de tipo rodante. Siguen su camino por telemando o guiándose por la información recibida de su entorno a través de sus sensores. Estos Robots aseguran el transporte de piezas de un punto a otro de una cadena de fabricación. Guiados mediante pistas materializadas a través de la radiación electromagnética de circuitos empotrados en el suelo, o a través de bandas detectadas fotoeléctricamente, pueden incluso llegar a sortear obstáculos y están dotados de un nivel relativamente elevado de inteligencia.

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

- **3. Androides**

Son Robots que intentan reproducir total o parcialmente la forma y el comportamiento cinemático del ser humano. Actualmente, los androides son todavía dispositivos muy poco evolucionados y sin utilidad práctica, y destinados, fundamentalmente, al estudio y experimentación. Uno de los aspectos más complejos de estos Robots, y sobre el que se centra la mayoría de los trabajos, es el de la locomoción bípeda. En este caso, el principal problema es controlar dinámicamente y coordinadamente en el tiempo real el proceso y mantener simultáneamente el equilibrio del Robot.

- **4. Zoomórficos**

Los Robots zoomórficos, que considerados en sentido no restrictivo podrían incluir también a los androides, constituyen una clase caracterizada principalmente por sus sistemas de locomoción que imitan a los diversos seres vivos. A pesar de la disparidad morfológica de sus posibles sistemas de locomoción es conveniente agrupar a los Robots zoomórficos en dos categorías principales: caminadores y no caminadores. El grupo de los Robots zoomórficos no caminadores está muy poco evolucionado. Los experimentos efectuados en Japón basados en segmentos cilíndricos biselados acoplados axialmente entre sí y dotados de un movimiento relativo de rotación. Los Robots zoomórficos caminadores múltipedos son muy numerosos y están siendo objeto de experimentos en diversos laboratorios con vistas al desarrollo posterior de verdaderos vehículos terrenos, pilotados o autónomos, capaces de evolucionar en superficies muy accidentadas. Las aplicaciones de estos Robots serán interesantes en el campo de la exploración espacial y en el estudio de los volcanes.

- **5. Híbridos**

Corresponden a aquellos de difícil clasificación, cuya estructura se sitúa en combinación con alguna de las anteriores ya expuestas, bien sea por conjunción o por yuxtaposición. Por ejemplo, un dispositivo segmentado articulado y con ruedas, es al mismo tiempo, uno de los atributos de los Robots móviles y de los Robots zoomórficos.

## 1.5 Historia de la robótica. Aplicaciones

---

Los robots son utilizados en una diversidad de aplicaciones, desde robots tortugas en los salones de clases, robots soldadores en la industria automotriz, hasta brazos teleoperados en el transbordador espacial.

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT



**Fig. 3 Robot formador de cajas**

Cada robot lleva consigo su problemática propia y sus soluciones afines; no obstante que mucha gente considera que la automatización de procesos a través de robots está en sus inicios, es un hecho innegable que la introducción de la tecnología robótica en la industria, ya ha causado un gran impacto. En este sentido la industria Automotriz desempeña un papel preponderante.

Es necesario hacer mención de los problemas de tipo social, económicos e incluso político, que puede generar una mala orientación de robotización de la industria. Se hace indispensable que la planificación de los recursos humanos, tecnológicos y financieros se realice de una manera inteligente.

Por el contrario, la Robótica contribuirá en gran medida al incremento del empleo. ¿Pero, como se puede hacer esto? al automatizar los procesos en máquinas más flexibles, reduce el costo de maquinaria, y se produce una variedad de productos sin necesidad de realizar cambios importantes en la forma de fabricación de los mismo. Esto originara una gran cantidad de empresas familiares (Micro y pequeñas empresas) lo que provoca la descentralización de la industria.

### 1.5.1 Aplicación de transferencia de material

Las aplicaciones de transferencia de material se definen como operaciones en las cuales el objetivo primario es mover una pieza de una posición a otra. Se suelen considerar entre las operaciones más sencillas o directas de realizar por los robots. Las aplicaciones normalmente necesitan un robot poco sofisticado, y los requisitos de enclavamiento con otros equipos son típicamente simples.

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## **Carga y descarga de máquinas.**

Estas aplicaciones son de manejos de material en las que el robot se utiliza para servir a una máquina de producción transfiriendo piezas a/o desde las máquinas. Existen tres casos que caen dentro de ésta categoría de aplicación:

1. *Carga/Descarga de Máquinas.* El robot carga una pieza de trabajo en bruto en el proceso y descarga una pieza acabada. Una operación de mecanizado es un ejemplo de este caso.

1. *Carga de máquinas.* El robot debe de cargar la pieza de trabajo en bruto a los materiales en las máquinas, pero la pieza se extrae mediante algún otro medio. En una operación de prensado, el robot se puede programar para cargar láminas de metal en la prensa, pero las piezas acabadas se permiten que caigan fuera de la prensa por gravedad.
2. *Descarga de máquinas.* La máquina produce piezas acabadas a partir de materiales en bruto que se cargan directamente en la máquina sin la ayuda de robots. El robot descarga la pieza de la máquina. Ejemplos de ésta categoría incluyen aplicaciones de fundición de troquel y moldeado plástico.

La aplicación se tipifica mejor mediante una célula de trabajo con el robot en el centro que consta de la máquina de producción, el robot y alguna forma de entrega de piezas.

### 1.5.2 Operaciones de procesamiento.

Además de las aplicaciones de manejo de piezas, existe una gran clase de aplicaciones en las cuales el robot realmente efectúa trabajos sobre piezas. Este trabajo casi siempre necesita que el efector final del robot sea una herramienta en lugar de una pinza.

Por tanto, la utilización de una herramienta para efectuar el trabajo es una característica distinta de este grupo de aplicaciones. El tipo de herramienta depende de la operación de procesamiento que se realiza.

#### **Soldadura por puntos.**

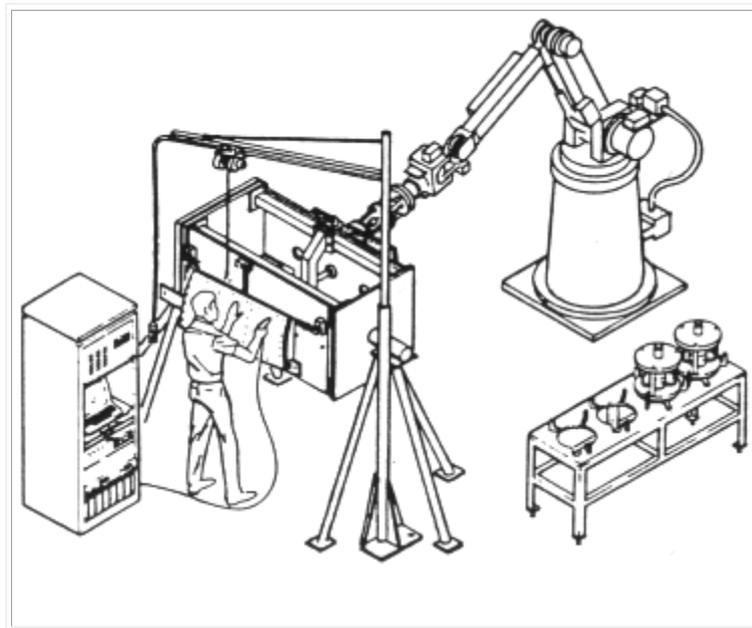
Como el término lo sugiere, la soldadura por puntos es un proceso en el que dos piezas de metal se sueldan en puntos localizados al hacer pasar una gran corriente eléctrica a través de las piezas donde se efectúa la soldadura.

#### **Soldadura por arco continua.**

La soldadura por arco es un proceso de soldadura continua en oposición a la soldadura por punto que podría llamarse un proceso discontinuo. La soldadura de arco

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

continua se utiliza para obtener uniones largas o grandes uniones soldadas en las cuales, a menudo, se necesita un cierre hermético entre las dos piezas de metal que se van a unir. El proceso utiliza un electrodo en forma de barra o alambre de metal para suministrar la alta corriente eléctrica de 100 a 300 amperios.



**Fig. 4 Robot sujeción**

### **Recubrimiento con spray**

La mayoría de los productos fabricados de materiales metálicos requieren de alguna forma de acabado de pintura antes de la entrega al cliente. La tecnología para aplicar estos acabados varía en la complejidad desde métodos manuales simples a técnicas automáticas altamente sofisticadas. Se dividen los métodos de recubrimiento industrial en dos categorías:

- 1.- Métodos de recubrimiento de flujo e inmersión.
- 2.- Métodos de recubrimiento al spray.

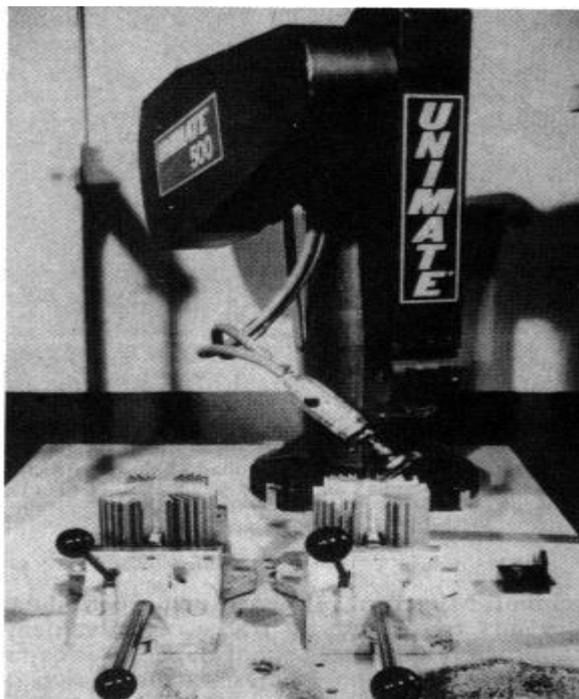
Los métodos de recubrimiento mediante flujo de inmersión se suelen considerar que son métodos de aplicar pintura al producto de baja tecnología. La inmersión simplemente requiere sumergir la pieza o producto en un tanque de pintura líquida.

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

### 1.5.3 Otras Operaciones de proceso

Además de la soldadura por punto, la soldadura por arco, y el recubrimiento al spray existe una serie de otras aplicaciones de robots que utilizan alguna forma de herramienta especializada como efector final. Operaciones que están en ésta categoría incluyen:

- Taladro, acanalado, y otras aplicaciones de mecanizado.
- Rectificado, pulido, desbarbado, cepillado y operaciones similares.
- Remachado, Corte por chorro de agua.
- Taladro y corte por láser.



**Fig. 5 Robot de inspección**

### Laboratorios

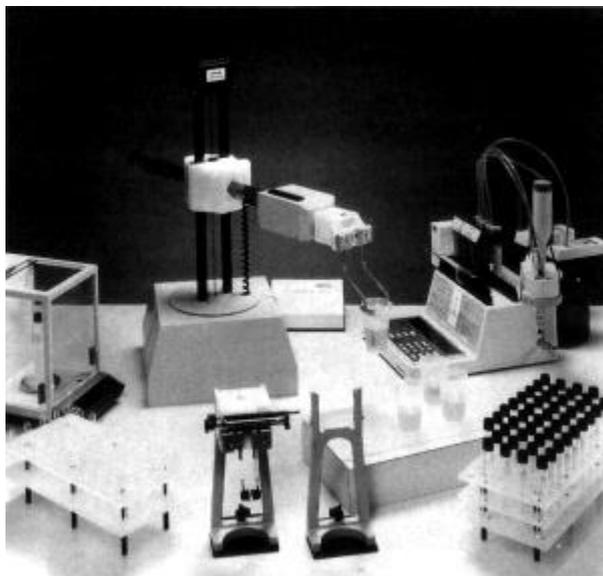
Los robots están encontrando un gran número de aplicaciones en los laboratorios. Llevan a cabo con efectividad tareas repetitivas como la colocación de tubos de pruebas dentro de los instrumentos de medición. En ésta etapa de su desarrollo los robots son utilizados para realizar procedimientos manuales automatizados. Un típico sistema de preparación de muestras consiste de un robot y una estación de laboratorio, la cual contiene balanzas, dispensarios, centrifugados, racks de tubos de pruebas, etc.

Las muestras son movidas desde la estación de laboratorios por el robot bajo el control de procedimientos de un programa.

Los fabricantes de estos sistemas mencionan tener tres ventajas sobre la operación manual: incrementan la productividad, mejoran el control de calidad y reducen la exposición del ser humano a sustancias químicas nocivas.

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

Las aplicaciones subsecuentes incluyen la medición del pH, viscosidad, y el porcentaje de sólidos en polímeros, preparación de plasma humano para muestras para ser examinadas, calor, flujo, peso y disolución de muestras para presentaciones espectrométricas.



**Fig. 6 Robot de laboratorio**

### **Manipuladores cinemáticos**

La tecnología robótica encontró su primera aplicación en la industria nuclear con el desarrollo de teleoperadores para manejar material radiactivo. Los robots más recientes han sido utilizados para soldar a control remoto y la inspección de tuberías en áreas de alta radiación. El accidente en la planta nuclear de Three Mile Island en Pennsylvania en 1979 estimuló el desarrollo y aplicación de los robots en la industria nuclear. El reactor número 2 (TMI-2) perdió su enfriamiento, y provocó la destrucción de la mayoría del reactor, y dejó grandes áreas del reactor contaminadas, inaccesible para el ser humano. Debido a los altos niveles de radiación las tareas de limpieza solo eran posibles por medios remotos. Varios robots y vehículos controlados remotamente han sido utilizados para tal fin en los lugares donde ha ocurrido una catástrofe de este tipo. Ésta clase de robots son equipados en su mayoría con sofisticados equipos para detectar niveles de radiación, cámaras, e incluso llegan a traer a bordo un mini laboratorio para hacer pruebas.

### **Agricultura**

Para muchos la idea de tener un robot agricultor es ciencia ficción, pero la realidad es muy diferente; o al menos así parece ser para el Instituto de Investigación Australiano,

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

el cual ha invertido una gran cantidad de dinero y tiempo en el desarrollo de este tipo de robots. Entre sus proyectos se encuentra una máquina que esquila a las ovejas. La trayectoria del cortador sobre el cuerpo de las ovejas se planea con un modelo geométrico de la oveja.

Para compensar el tamaño entre la oveja real y el modelo, se tiene un conjunto de sensores que registran la información de la respiración del animal como de su mismo tamaño, ésta es mandada a una computadora que realiza las compensaciones necesarias y modifica la trayectoria del cortador en tiempo real.



**Fig. 7 Robot agricultura**

Debido a la escasez de trabajadores en los obradores, se desarrolla otro proyecto, que consiste en hacer un sistema automatizado de un obrador, el prototipo requiere un alto nivel de coordinación entre una cámara de vídeo y el efector final que realiza en menos de 30 segundos ocho cortes al cuerpo del cerdo.

Por su parte en Francia se hacen aplicaciones de tipo experimental para incluir a los robots en la siembra, y poda de los viñedos, como en la pizca de la manzana.

## **Espacio**

La exploración espacial posee problemas especiales para el uso de robots. El medio ambiente es hostil para el ser humano, quien requiere un equipo de protección muy costoso tanto en la Tierra como en el Espacio. Muchos científicos han hecho la sugerencia de que es necesario el uso de Robots para continuar con los avances en la exploración espacial; pero como todavía no se llega a un grado de automatización tan precisa para ésta aplicación, el ser humano aún no ha podido ser reemplazado por

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

estos. Por su parte, son los teleoperadores los que han encontrado aplicación en los transbordadores espaciales.

En Marzo de 1982 el transbordador Columbia fue el primero en utilizar este tipo de robots, aunque el ser humano participa en la realización del control de lazo cerrado.

Algunas investigaciones están encaminadas al diseño, construcción y control de vehículos autónomos, los cuales llevarán a bordo complejos laboratorios y cámaras muy sofisticadas para la exploración de otros planetas.

En Noviembre de 1970 los Rusos consiguieron el alunizaje del Lunokhod 1, el cual poseía cámaras de televisión, sensores y un pequeño laboratorio, era controlado remotamente desde la tierra.

En Julio de 1976, los Norteamericanos aterrizaron en Marte el Viking 1, llevaba a bordo un brazo robotizado, el cual recogía muestras de piedra, tierra y otros elementos las cuales eran analizados en el laboratorio que fue acondicionado en el interior del robot. Por supuesto también contaba con un equipo muy sofisticado de cámaras de vídeo.

### **Vehículos submarinos**

Dos eventos durante el verano de 1985 provocaron el incremento por el interés de los vehículos submarinos. En el primero - Un avión de la Air Indian se estrelló en el Océano Atlántico cerca de las costas de Irlanda - un vehículo submarino guiado remotamente, normalmente utilizado para el tendido de cable, fue utilizado para encontrar y recobrar la caja negra del avión. El segundo fue el descubrimiento del Titanic en el fondo de un cañón, donde había permanecido después del choque con un iceberg en 1912, cuatro kilómetros abajo de la superficie. Un vehículo submarino fue utilizado para encontrar, explorar y filmar el hallazgo.

En la actualidad muchos de estos vehículos submarinos se utilizan en la inspección y mantenimiento de tuberías que conducen petróleo, gas o aceite en las plataformas oceánicas; en el tendido e inspección del cableado para comunicaciones, para investigaciones geológicas y geofísicas en el suelo marino.

La tendencia hacia el estudio e investigación de este tipo de robots se incrementará a medida que la industria se interese aún más en la utilización de los robots, sobra mencionar los beneficios que se obtendrían si se consigue una tecnología segura para la exploración del suelo marino y la explotación del mismo.

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## Educación

Los robots están apareciendo en los salones de clases de tres distintas formas. Primero, los programas educacionales utilizan la simulación de control de robots como un medio de enseñanza. Un ejemplo palpable es la utilización del lenguaje de programación del robot Karel, el cual es un subconjunto de Pascal; este es utilizado por la introducción a la enseñanza de la programación.

El segundo y de uso más común es el uso del robot tortuga en conjunción con el lenguaje LOGO para enseñar ciencias computacionales. LOGO fue creado con la intención de proporcionar al estudiante un medio natural y divertido en el aprendizaje de las matemáticas.

En tercer lugar, está el uso de los robots en los salones de clases. Una serie de manipuladores de bajo costo, robots móviles, y sistemas completos han sido desarrollados para su utilización en los laboratorios educacionales. Debido a su bajo costo muchos de estos sistemas no poseen una fiabilidad en su sistema mecánico, tienen poca exactitud, no existen los sensores y en su mayoría carecen de software.



**Fig. 8 Robot educativo**

## El mercado de la robótica y las perspectivas futuras

Las ventas anuales para robots industriales han ido creciendo en Estados Unidos a razón del 25% de acuerdo a estadísticas del año 1981 a 1992. El incremento de ésta tasa se debe a factores muy diversos. En primer lugar, hay más personas en la industria que tienen conocimiento de la tecnología y de su potencial para sus

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

aplicaciones de utilidad. En segundo lugar, la tecnología de la robótica mejorará en los próximos años de manera que hará a los robots más amistosos con el usuario, más fáciles de interconectar con otro hardware y más sencillos de instalar.

En tercer lugar, que crece el mercado, son previsible economías de escala en la producción de robots para proporcionar una reducción en el precio unitario, lo que haría los proyectos de aplicaciones de robots más fáciles de justificar. En cuarto lugar, se espera que el mercado de la robótica sufra una expansión más allá de las grandes empresas, que ha sido el cliente tradicional para ésta tecnología, y llegue a las empresas de tamaño mediano, pequeño y por qué no; las microempresas. Estas circunstancias darán un notable incremento en las bases de clientes para los robots.

La robótica es una tecnología con futuro y también para el futuro. Si continúan las tendencias actuales, y si algunos de los estudios de investigación en el laboratorio actualmente en curso se convierten finalmente en una tecnología factible, los robots del futuro serán unidades móviles con uno o más brazos, capacidades de sensores múltiples y con la misma potencia de procesamiento de datos y de cálculo que las grandes computadoras actuales. Serán capaces de responder a órdenes dadas con voz humana. Así mismo serán capaces de recibir instrucciones generales y traducirlas, con el uso de la inteligencia artificial en un conjunto específico de acciones requeridas para llevarlas a cabo. Podrán ver, oír, palpar, aplicar una fuerza media con precisión a un objeto y desplazarse por sus propios medios.

En resumen, los futuros robots tendrían muchos de los atributos de los seres humanos. Es difícil pensar que los robots llegarán a sustituir a los seres humanos en el sentido de la obra de Carel Kapek, *Robots Universales de Rossum*. Por el contrario, la robótica es una tecnología que solo puede destinarse al beneficio de la humanidad. Sin embargo, como otras tecnologías, hay peligros potenciales implicados y deben establecerse salvaguardas para no permitir su uso pernicioso.

El paso del presente al futuro exigirá mucho trabajo de ingeniería mecánica, ingeniería electrónica, informática, ingeniería industrial, tecnología de materiales, ingenierías de sistemas de fabricación y ciencias sociales.

## 1.6 El robot paralelo tipo Delta

---

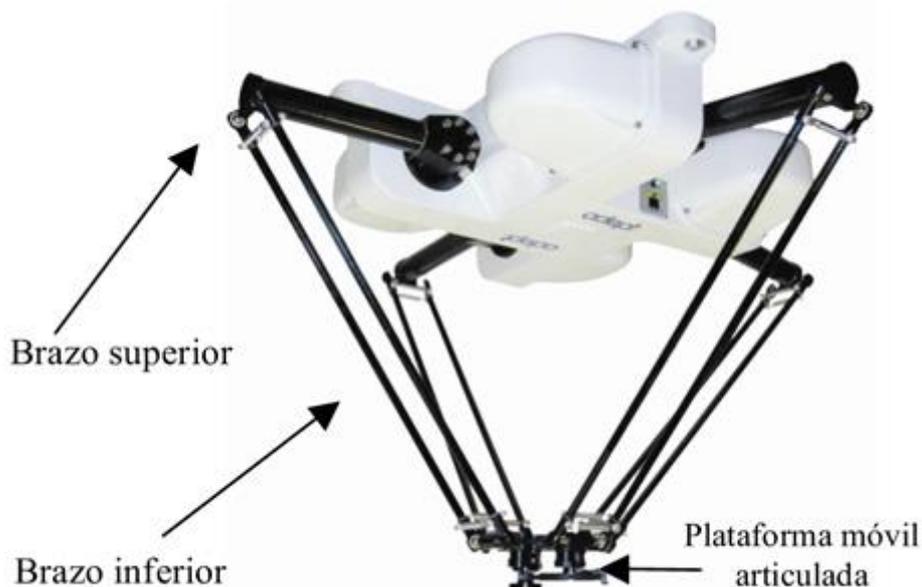
Los robots paralelos tienen una alta rigidez, exactitud de posición y traslado de carga. Estos robots pueden operar a velocidades y aceleraciones altas. En años recientes, se ha puesto gran atención a un número creciente de posibles aplicaciones industriales, tal como: manipulación, empacamiento, procesos de ensamble, simulación de movimiento y máquinas de fresado. Hay muchas otras aplicaciones prometedoras en la rama de la medicina robótica y la industria de máquinas-herramientas, donde se requiere una exactitud alta de posicionamiento. En otras palabras, la repetibilidad más

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Estado del Arte
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

precisa del extremo final, la cual está estrictamente relacionada con la alta precisión de manufactura. Los robots paralelos, a diferencia de los seriales, tienen su extremo final conectado a la base por medio de varias cadenas cinemáticas en paralelo.

La investigación documentada en el campo de los robots paralelos tiene sus inicios en el año de 1942, cuando Pollard patentó su mecanismo para el pintado de automóviles.

En 1947 McCough propuso una plataforma de 6 grados de libertad, la cual fue usada después por Stewart en su simulador de vuelo. Estos manipuladores son particularmente ubicados en una gran variedad de típicas aplicaciones industriales y han presentado mucho interés en los investigadores a lo largo del tiempo [Clavel, 1988; Pierrot, 1991; Badano, 1993; Arai and Tanikawa, 1996; Tsumaki et al. 1998]. En años recientes, varias estructuras y mecanismos han sido propuestos, los desarrollos de estos han establecido aplicaciones específicas, tales como: empaquetamiento, ensambles, manipulación de pequeñas piezas u objetos, etc. Tales manipuladores poseen un gran número de ventajas con respecto a los tradicionales brazos seriales. Ofrecen generalmente una mayor rigidez y movimiento de masas pequeñas en comparación con sus colegas seriales. Estas características permiten tener una alta precisión en manipulaciones. El robot delta es un diseño original que surgió de la necesidad de tener en los sectores de producción y manufactura, manipuladores de alta precisión y que presentaran gran velocidad y repetibilidad de las tareas que realizaban. Por ser capaz de lograr velocidades de hasta 500m/s, el robot delta es uno de los robots más veloces del mundo.



**Fig. 9 Robot Delta**

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Cinemática de Robot Delta
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## 2 Cinemática de Robot Delta

---



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

TFG

ALEJANDRO LIZA BORJA

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Cinemática de Robot Delta
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Cinemática de Robot Delta
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## Contenido

2	Cinemática de Robot Delta.....	29
2.1	Introducción .....	32
2.2	Geometria directa .....	34
2.3	Límites geométricos del espacio de trabajo.....	38
2.4	Calculo de límites geométricos .....	40

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Cinemática de Robot Delta
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## 2.1 Introducción

---

### Cinematica directa

La cinemática de un robot es el estudio de los movimientos de un robot. En un análisis cinemático la posición, velocidad y aceleración de cada uno de los elementos del robot son calculados sin considerar las fuerzas que causan el movimiento. La relación entre el movimiento y las fuerzas asociadas son estudiadas en la dinámica de robots.

El estudio de la cinemática de manipuladores se refiere a todas las propiedades geométricas y basadas en el tiempo del movimiento. Las relaciones entre los movimientos y las fuerzas y movimientos de torsión que lo ocasionan constituyen el problema de la dinámica. Un problema muy básico en el estudio de la manipulación mecánica se conoce como cinemática directa, que es el problema geométrico estático de calcular la posición y orientación del efector final del manipulador.

La cinemática directa se refiere al uso de ecuaciones cinemáticas para calcular la posición de su actuador final a partir de valores específicos denominado parámetros. Las ecuaciones cinemáticas de un robot son usadas en robots, juegos de computadoras y la animación. El proceso inverso que calcula el conjunto de parámetros a partir de una posición específica del actuador final es la cinemática inversa.

En una cadena serial, la solución siempre es única: dado un conjunto de vectores estos siempre corresponderán a una única posición del actuador.

Métodos para el análisis de la cinemática directa:

- Transformación de matrices.
- Geometría
- Transformación de Coordenadas

En una cadena paralela, la solución no es única: para esta un conjunto de coordenadas se tienen más de una posición final para el actuador.

En general, un robot de  $n$  grados de libertad está formado por  $n$  eslabones unidos por  $n$  articulaciones, de forma que cada par articulación - eslabón constituye un grado de libertad. A cada eslabón se le puede asociar un sistema de referencia solidario a él y, utilizando las transformaciones homogéneas, es posible representar las rotaciones y traslaciones relativas entre los distintos eslabones que componen el robot. La matriz de transformación homogénea que representa la posición y orientación relativa entre los distintos sistemas asociados a dos eslabones consecutivos del robot se denomina  $i-1A_i$ . Del mismo modo, la matriz  $0A_k$ , resultante del producto de las matrices  $i-1A_i$

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Cinemática de Robot Delta
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

con  $i$  desde 1 hasta  $k$ , es la que representa de forma total o parcial la cadena cinemática que forma el robot con respecto al sistema de referencia inercial asociado a la base. Cuando se consideran todos los grados de libertad, a la matriz  ${}^0A_n$  se le denomina  $T$ , matriz de transformación que relaciona la posición y orientación del extremo final del robot respecto del sistema fijo situado en la base del mismo. Así, dado un robot de 6 grados de libertad, se tiene que la posición y orientación del eslabón final vendrá dado por la matriz  $T$ .

Para describir la relación que existe entre dos sistemas de referencia asociados a eslabones, se utiliza la representación Denavit - Hartenberg (D-H). Denavit y Hartenberg propusieron en 1955 un método matricial que permite establecer de manera sistemática un sistema de coordenadas  $\{S_i\}$  ligado a cada eslabón  $i$  de una cadena articulada. Además, la representación D-H permite pasar de un sistema de coordenadas a otro mediante 4 transformaciones básicas que dependen exclusivamente de las características geométricas del eslabón.

## Cinemática inversa

En Robótica, la **Cinemática inversa (IK)** es la técnica que permite determinar el movimiento de una cadena de articulaciones para lograr que un actuador final se ubique en una posición concreta. El cálculo de la cinemática inversa es un problema complejo que consiste en la resolución de una serie de ecuaciones cuya solución normalmente no es única.

El objetivo de la cinemática inversa es encontrar los valores que deben tomar las coordenadas articulares del robot para que su extremo se posicione y oriente según una determinada localización espacial. Depende de la configuración del robot (existen soluciones múltiples).

Siempre que se especifica una posición de destino y una orientación en términos cartesianos, debe calcularse la cinemática inversa del dispositivo para poder despejar los ángulos de articulación requeridos. Los sistemas que permiten describir destinos en términos cartesianos son capaces de mover el manipulador a puntos que nunca fueron capaces de mover el espacio de trabajo a los cuales tal vez nunca haya ido antes. A estos puntos los llamaremos *puntos calculados*.

El movimiento de una cadena cinemática ya sea si es un robot o un personaje animado es modelado por ecuaciones cinemáticas propias de la misma cadena. Estas ecuaciones definen la configuración de la cadena en términos de sus parámetros.

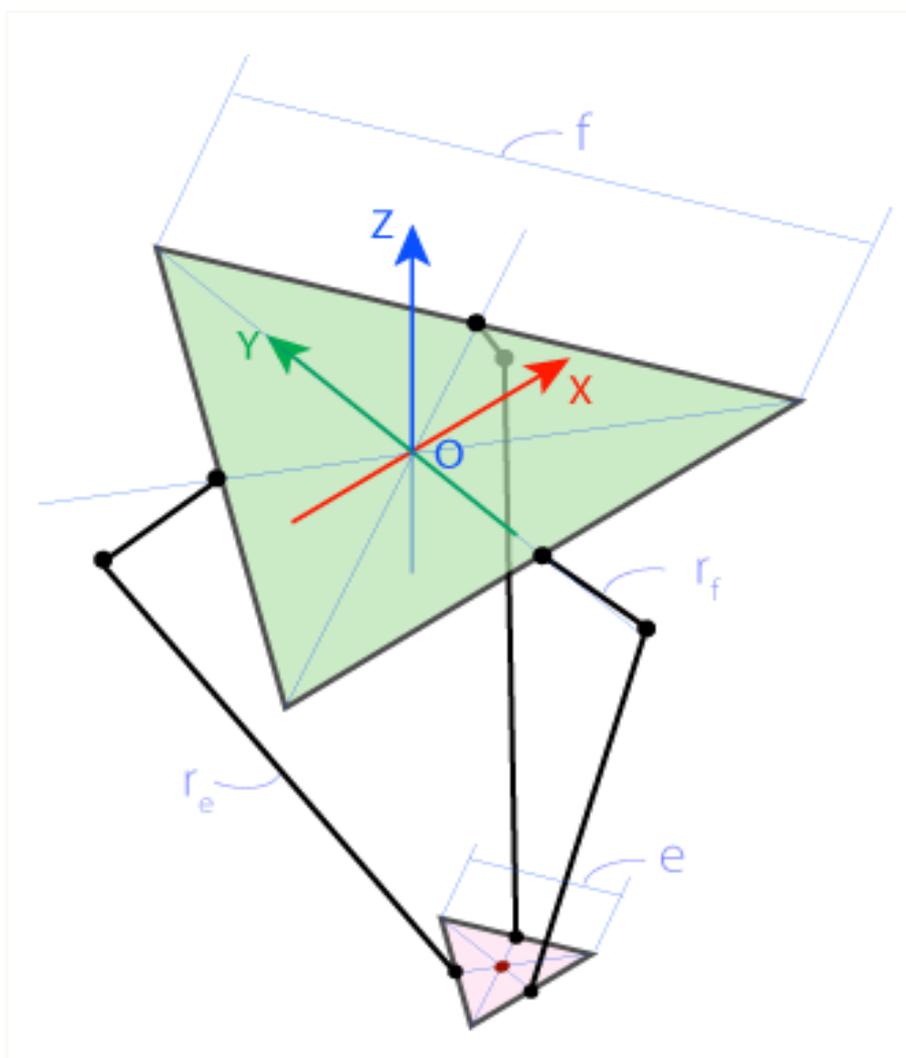
Por ejemplo, las fórmulas de la cinemática inversa permiten el cálculo de los parámetros de unión del brazo de un robot para levantar un objeto. Ya que una de las Fórmulas similares es determinar las posiciones del esqueleto de un personaje animado que se va a mover de una manera en particular.

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Cinemática de Robot Delta
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## 2.2 Geometría directa

Llámese a un robot paralelo, un robot de al menos 2 cuerpos conectados por más de una cadena cinemática.

El robot paralelo de configuración tipo Delta tiene 3 GDL y consiste en una plataforma fija con forma de triángulo equilátero, cuyo apotema tiene una longitud  $R$ , unida a una plataforma móvil a través de 3 cadenas cinemáticas movidas por motores instalados en la base móvil de longitud  $r$ .



**Fig. 10 Robot Delta**

Cada brazo está constituido por 2 eslabones, El primer eslabón de longitud  $L_a$  es una sola pieza y el segundo  $L_b$  está formado por barras paralelas.

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Cinemática de Robot Delta
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

El ángulo que tiene  $L_a$  respecto de la base fija se define como:  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ , del mismo modo el ángulo que tienen los motores respecto de la base fija son los siguientes:  $\theta_1=0^\circ, \theta_2=120^\circ, \theta_3=240^\circ$ .

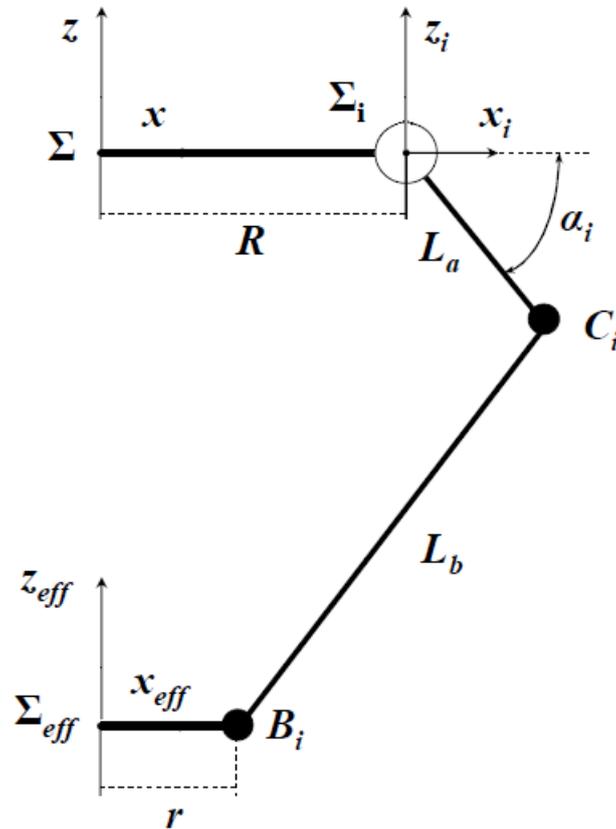


Fig. 11 Parámetros

Consideraciones:

Tendremos en cuenta la matriz de rotación en z para los cálculos:

$$M_z(\theta_i) = \begin{pmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) & 0 \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Cinemática de Robot Delta
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

Tomaremos como posición del effector el punto P:

$$P = (X, Y, Z)$$

En primer lugar vamos a obtener las posiciones de los puntos Ci y Bi respecto del centro de la base, punto P(0,0,0).

$$C_{i\Sigma} = Mz(\theta_i) * \begin{bmatrix} R \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + Mz(\theta_i) * \begin{bmatrix} La * \cos(\alpha_i) \\ 0 \\ -La * \sin(\alpha_i) \end{bmatrix}$$

$$B_{i\Sigma} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + Mz(\theta_i) * \begin{bmatrix} r \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \rightarrow \text{Vector de posición del effector}$$

Una vez tenemos estos vectores podemos decir que:

$$B_i C_i = C_{i\Sigma} - B_{i\Sigma}$$

Desarrollamos la ecuación:

$$B_i C_i = Mz(\theta_i) * \begin{bmatrix} R \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + Mz(\theta_i) * \begin{bmatrix} La * \cos(\alpha_i) \\ 0 \\ -La * \sin(\alpha_i) \end{bmatrix} - \left( \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + Mz(\theta_i) * \begin{bmatrix} r \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right) =$$

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Cinemática de Robot Delta
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

$$\begin{bmatrix} \Delta r * \cos(\theta_i) \\ \Delta r * \sin(\theta_i) \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} La * \cos(\alpha_i) * \cos(\theta_i) \\ La * \cos(\alpha_i) * \sin(\theta_i) \\ -La * \sin(\alpha_i) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} (\Delta r + La * \cos(\alpha_i)) * \cos(\theta_i) - X \\ (\Delta r + La * \cos(\alpha_i)) * \sin(\theta_i) - Y \\ -La * \sin(\alpha_i) - Z \end{bmatrix}$$

$$\|B_i C_i\| = Lb \rightarrow$$

$$Lb^2 = (X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2 + (Z_i - Z)^2$$

Siendo:

$$X_i = (\Delta r + La * \cos(\alpha_i)) * \cos(\theta_i)$$

$$Y_i = (\Delta r + La * \cos(\alpha_i)) * \sin(\theta_i)$$

$$Z_i = -La * \sin(\alpha_i)$$

En esta ecuación tenemos como incógnitas la posición del efector y los ángulos  $\alpha_i$  de los brazos "La", con lo que sabiendo la posición que queremos podremos obtener los ángulos necesarios para alcanzar dicha posición.

Desarrollamos los polinomios y simplificando obtenemos:

$$2\Delta r La \cos(\alpha_i) - La \cos(\alpha_i) * (2X \cos(\theta_i) + 2Y \cos(\theta_i)) + 2Z \sin(\theta_i) =$$

$$Lb^2 - La^2 - \Delta r^2 - X^2 - Y^2 - Z^2 + \Delta r(2X \cos(\theta_i) + 2Y \cos(\theta_i))$$

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Cinemática de Robot Delta
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

Sustituimos por los siguientes parámetros y resolvemos la ecuación resultante quedando finalmente:

$$q_i = 2X\cos(\theta_i) + 2Y\cos(\theta_i)$$

$$S = \frac{1}{La}(Lb^2 - La^2 - \Delta r^2 - X^2 - Y^2 - Z^2)$$

$$\tan \frac{\alpha_i}{2} = \frac{-2Z \pm \sqrt{4Z^2 + 4\Delta r^2 - S^2 - q_i \left(4\Delta r + \frac{2S\Delta r}{La}\right) + q_i^2 \left(1 - \frac{\Delta r^2}{La^2}\right)}}{-2\Delta r - S - q_i \left(\frac{\Delta r}{La} - 1\right)}$$

A partir de esta ecuación es fácil obtener los ángulos necesarios de cada actuador para alcanzar la posición requerida.

## 2.3 Límites geométricos del espacio de trabajo

Una parte importante es definir los límites físicos del robot en el espacio, evitando posiciones que no deben de producirse para evitar posibles colisiones, y bajo las condiciones de los ángulos máximos y mínimos que pueden alcanzar los actuadores. Todas estas condiciones están sujetas al ángulo  $\delta$ .

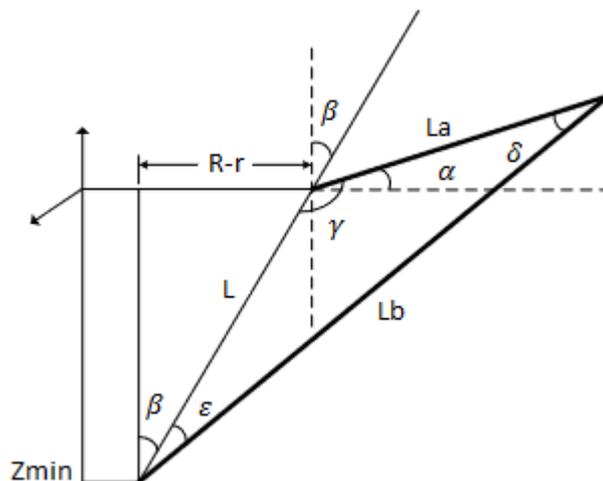


Fig. 12 Limites 1

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Cinemática de Robot Delta
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

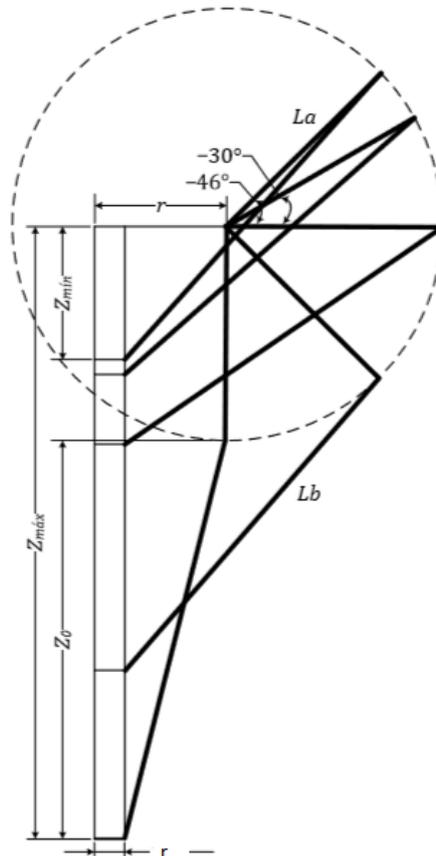
Si se tiene que  $\lim_{\delta \rightarrow 0} L = \sqrt{Lb^2 + La^2 - 2LaLb}$  y el  $\lim_{\delta \rightarrow 0} \delta = 180^\circ$  entonces,  $\alpha + \beta = 90^\circ$  y además  $\beta = \arcsen(\frac{\Delta r}{L})$ , por tanto  $\alpha_{min} = \frac{\pi}{2} - \beta$  de esta manera si  $\alpha_i < \alpha_{min}$  ocurrirá una colisión o bloqueo mecánico en la estructura.

De la figura anterior (Fig 12) por último obtendremos:

$$Z_{min} = L \cos \beta$$

Ahora, para cuando  $\alpha_i$  toma el valor de  $\alpha_i = 90^\circ$  y  $Z_0 = \sqrt{Lb^2 - (R - r)^2}$  (Fig 12).

$$Z_{max} = La + Z_0$$



**Fig. 13 Límites 2**

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Cinemática de Robot Delta
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## 2.4 Calculo de límites geométricos

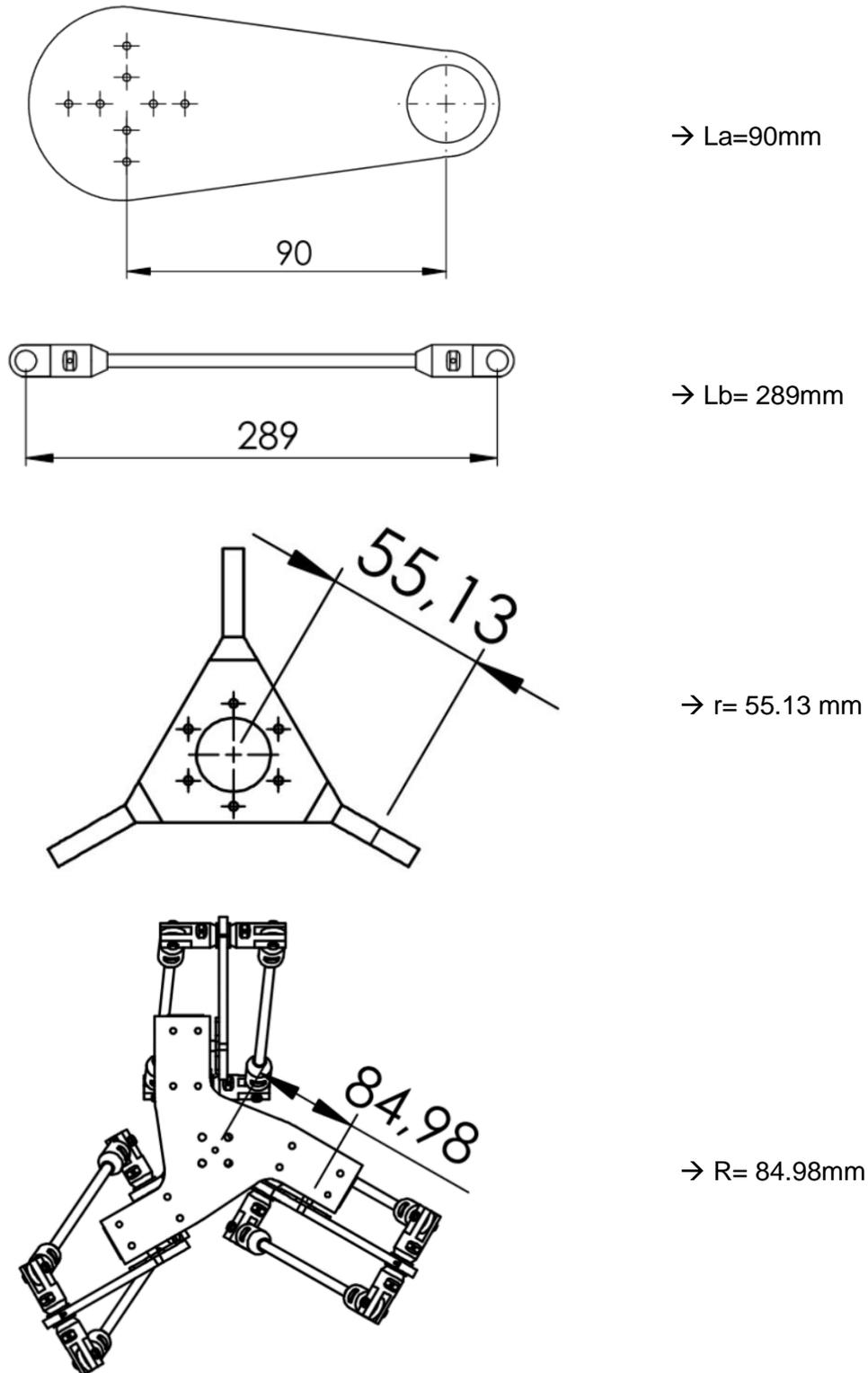


Fig. 14 Dimensiones

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Cinemática de Robot Delta
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

Utilizando las ecuaciones descritas en el apartado anterior obtendremos el valor de  $Z_{min}$  y  $Z_{max}$ .

En primer lugar:

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} L = \sqrt{Lb^2 + La^2 - 2LaLb} = \sqrt{289^2 + 90^2 - 2 * 90 * 289} = 199$$

$$\beta = \arcsen\left(\frac{\Delta r}{L}\right) = \arcsen\left(\frac{84.98 - 55.13}{199}\right) = 0.1506 \text{ rad}$$

$$\alpha_{min} = \frac{\pi}{2} - \beta = \frac{\pi}{2} - 0.1506 = 81.37^\circ$$

de esta manera si  $\alpha_i < \alpha_{min}$  ocurrirá una colisión o bloqueo mecánico en la estructura.

por último, obtendremos:

$$Z_{min} = L \cos \beta = 196.75 \text{ mm}$$

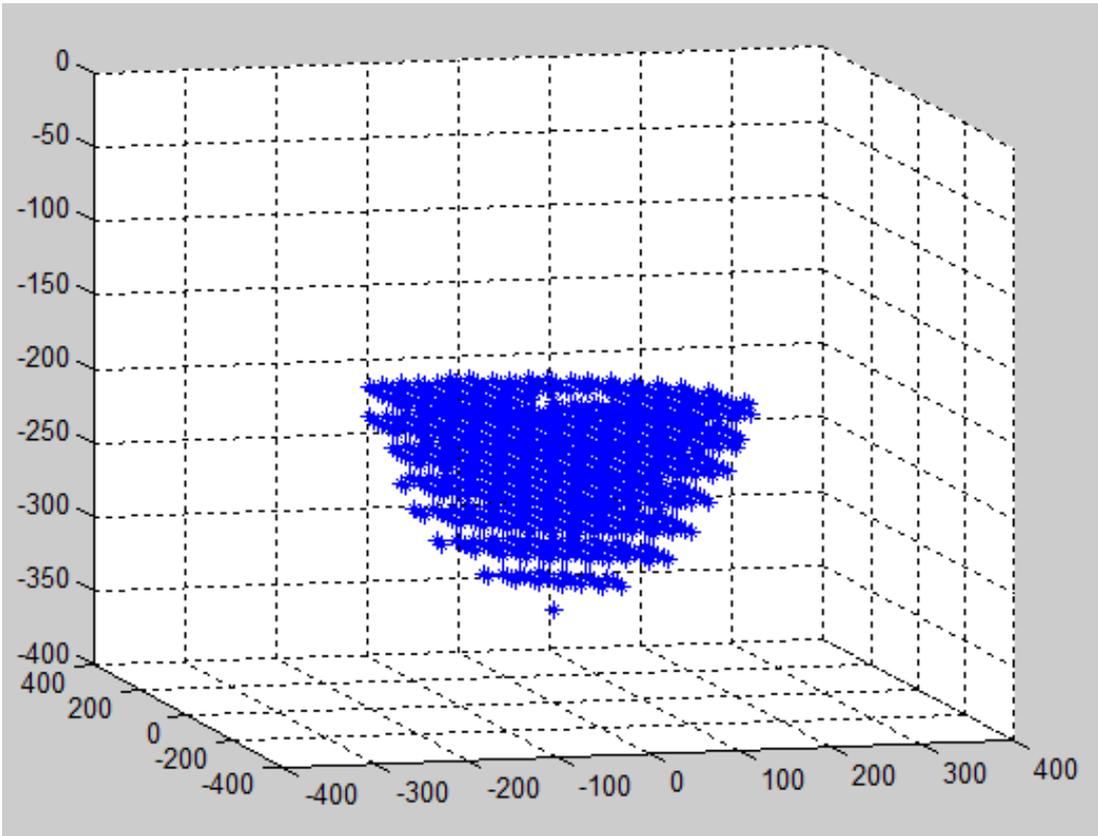
Ahora, para cuando  $\alpha_i$  toma el valor de  $\alpha_i = 90^\circ$  y  $Z_0 = \sqrt{Lb^2 - (R - r)^2}$  (Fig 12).

$$Z_{max} = La + Z_0 = 377.45 \text{ mm}$$

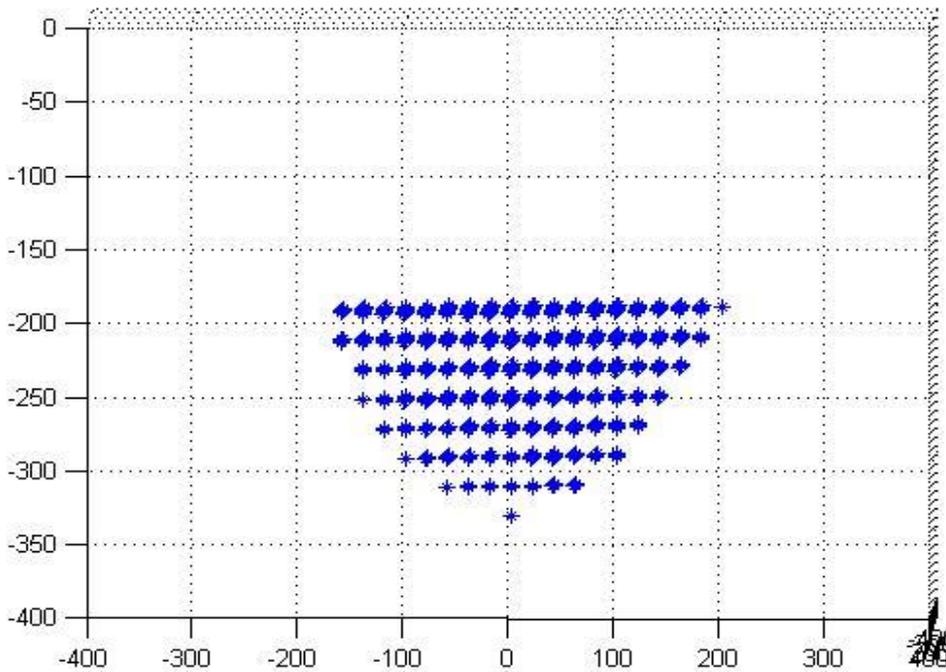
Con estos valores podremos limitar los valores que introduciremos al robot. También tendremos que tener en cuenta las limitaciones del angulo del servomotor que analizaremos más adelante.

Con estas limitaciones analizaremos con Matlab las soluciones posibles. Lo que hemos hecho es representar la solución que nos dé un valor real y alcanzable por nuestro robot en el espacio (Fig 15).

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Cinemática de Robot Delta
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT



**Fig. 15** Espacio de trabajo

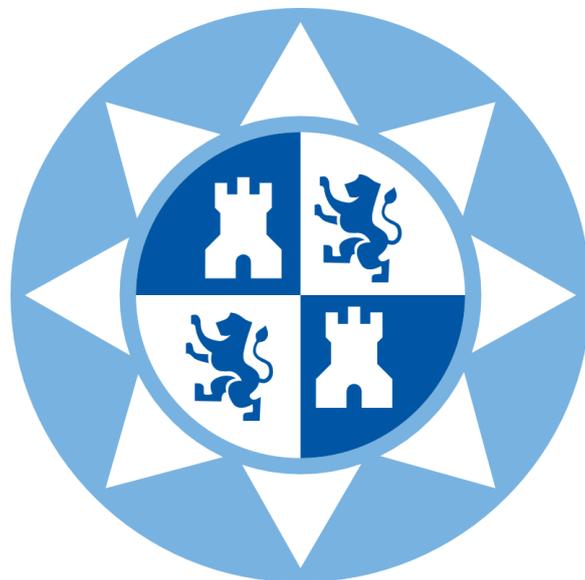


**Fig. 16** Espacio de trabajo 2

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo mecánico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

### 3. Desarrollo mecánico

---



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

TFG

ALEJANDRO LIZA BORJA

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo mecánico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo mecánico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## Contenido

3.	Desarrollo mecánico.....	43
3.1.	Sistemas CAD.....	46
3.2.	Planos de fabricación .....	47
3.2.1	Barras de aluminio .....	49
3.2.2	Brazo corto superior.....	50
3.2.3	Base superior fija.....	51
3.2.4	Soporte de servo .....	52
3.2.5	Sujeción corta .....	53
3.2.6	Sujeción larga .....	54
3.2.7	Base inferior móvil.....	55
3.2.8	Soporte herramienta .....	56
3.2.9	Estructura Robot Delta .....	57
3.3.	Instrucciones de montaje.....	58
3.4.	Calculo de torque necesario.....	62

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo mecánico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

### 3.1. Sistemas CAD

Las siglas CAD corresponden al acrónimo de Computer Aided Design. En la traducción es donde se presenta un pequeño conflicto, ya que puede haber dos acepciones, Diseño asistido por ordenador (Design) y Dibujo asistido por ordenador (Drafting). Es, en esta diferencia lingüística donde se pone de manifiesto la evolución que ha sufrido este concepto a lo largo de los últimos años, desde el concepto de Dibujo de los primeros años del desarrollo de esta tecnología, hasta el concepto de Diseño que actualmente es el más acertado. Por Diseño se entiende la plasmación gráfica de una idea, la labor mediante la cual y con ayuda de un ordenador, el diseñador plasma en una realidad gráfica su idea.

CAD significa el uso del ordenador (hardware y software) para el diseño de productos, lo que implica la integración de métodos computacionales y de ingeniería en un sistema basado en un ordenador. Esto requiere una base de datos, algoritmos de representación, subsistemas de comunicación para entrada y salida de datos, etc. El CAD se puede combinar con otras tecnologías (CAM, CAE) para hacer un desarrollo integral de un proyecto desde su fase de diseño hasta su producción en línea, con lo que consigue un espectacular ahorro en el tiempo de desarrollo del proyecto.

Para nuestro proyecto hemos escogido SOLIDWORKS como herramienta de diseño asistido por ordenador para la creación de piezas y ensamblajes, con lo que podemos ver cómo quedará nuestro proyecto antes de hacer las piezas y asegurarnos de que todo sea correcto.

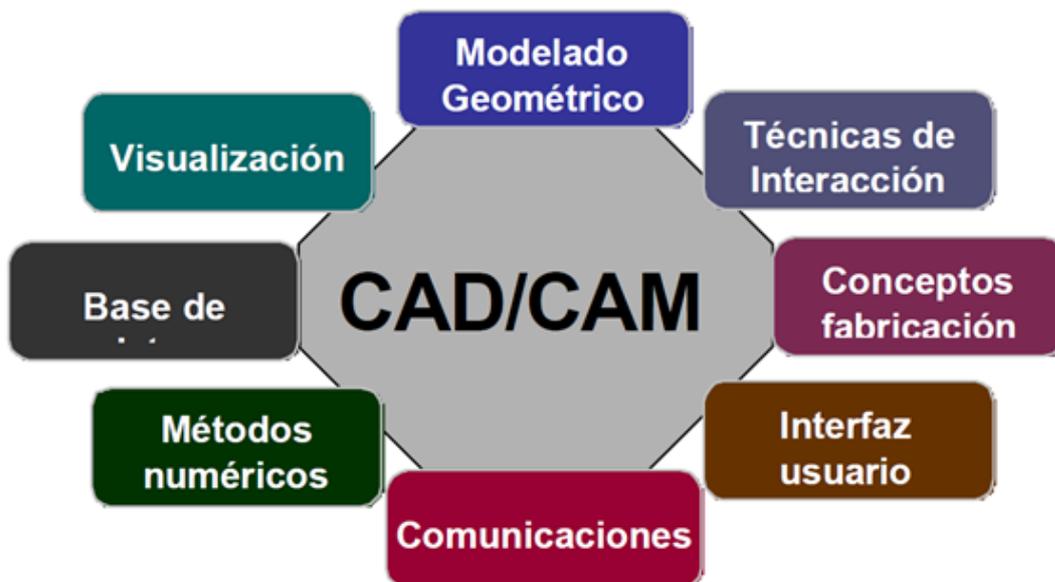


Fig. 15 Esquema CAD

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo mecánico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## 3.2. Planos de fabricación

---

En este apartado encontraremos los planos desarrollados mediante la herramienta de diseño asistido por ordenador SOLIWORKS, en los cuales viene indicado el material de cada uno, así para los que estén hechos en ABS se crearan mediante impresión 3D, las varillas de aluminio son perfiles comerciales y la madera se formara mediante marquetería.

Barras de aluminio.....	Hoja n°1
Brazo corto superior.....	Hoja n°2
Base superior fija.....	Hoja n°3
Soporte de servo.....	Hoja n°4
Sujeción corta.....	Hoja n°5
Sujeción larga.....	Hoja n°6
Base inferior móvil.....	Hoja n°7
Soporte herramienta.....	Hoja n°8
Estructura Robot Delta.....	Hoja n°9

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo mecánico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

6 5 4 3 2 1

D

D

C

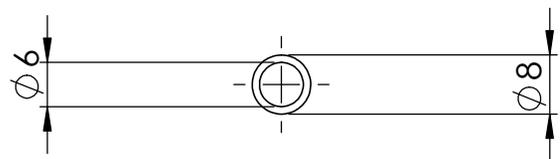
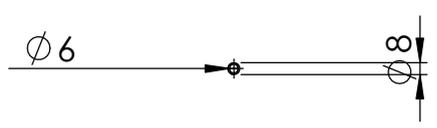
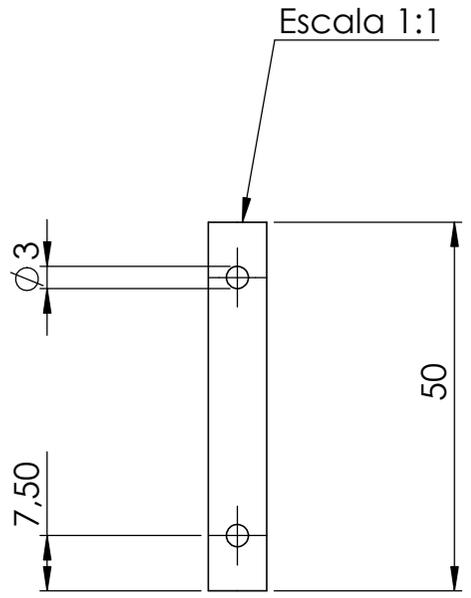
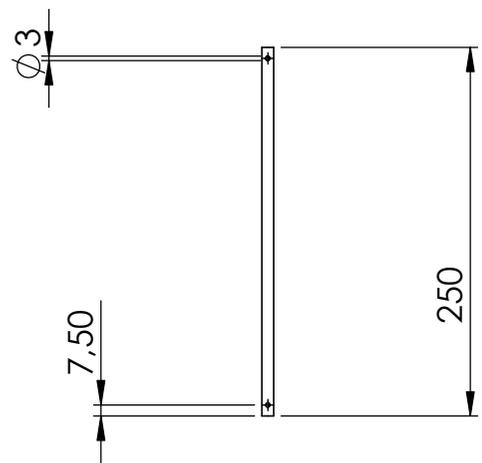
C

B

B

A

A



Compañía:	UPCT	<b>Universidad Politécnica de Cartagena</b> 	TÍTULO:	Barras de aluminio	ESCALA:1:5
Autor:	Alejandro Liza Borja		MATERIAL:	Aluminio	HOJA 1 DE 9

6 5 4 3 2 1

6

5

4

3

2

1

D

D

C

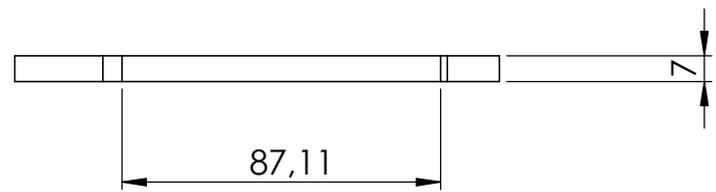
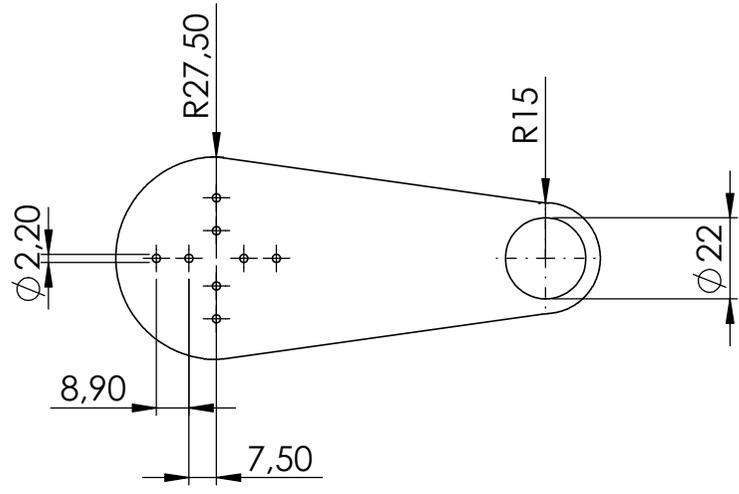
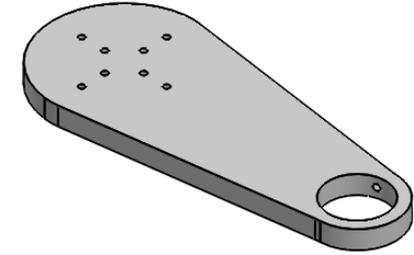
C

B

B

A

A



<b>Compañía:</b>	UPCT	<b>Universidad Politécnica de Cartagena</b>		<b>TÍTULO:</b>	Brazo corto superior	<b>ESCALA:</b> 1:2
<b>Autor:</b>	Alejandro Liza Borja			<b>MATERIAL:</b>	ABS	<b>HOJA</b> 2 DE 9

6

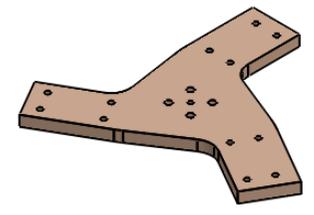
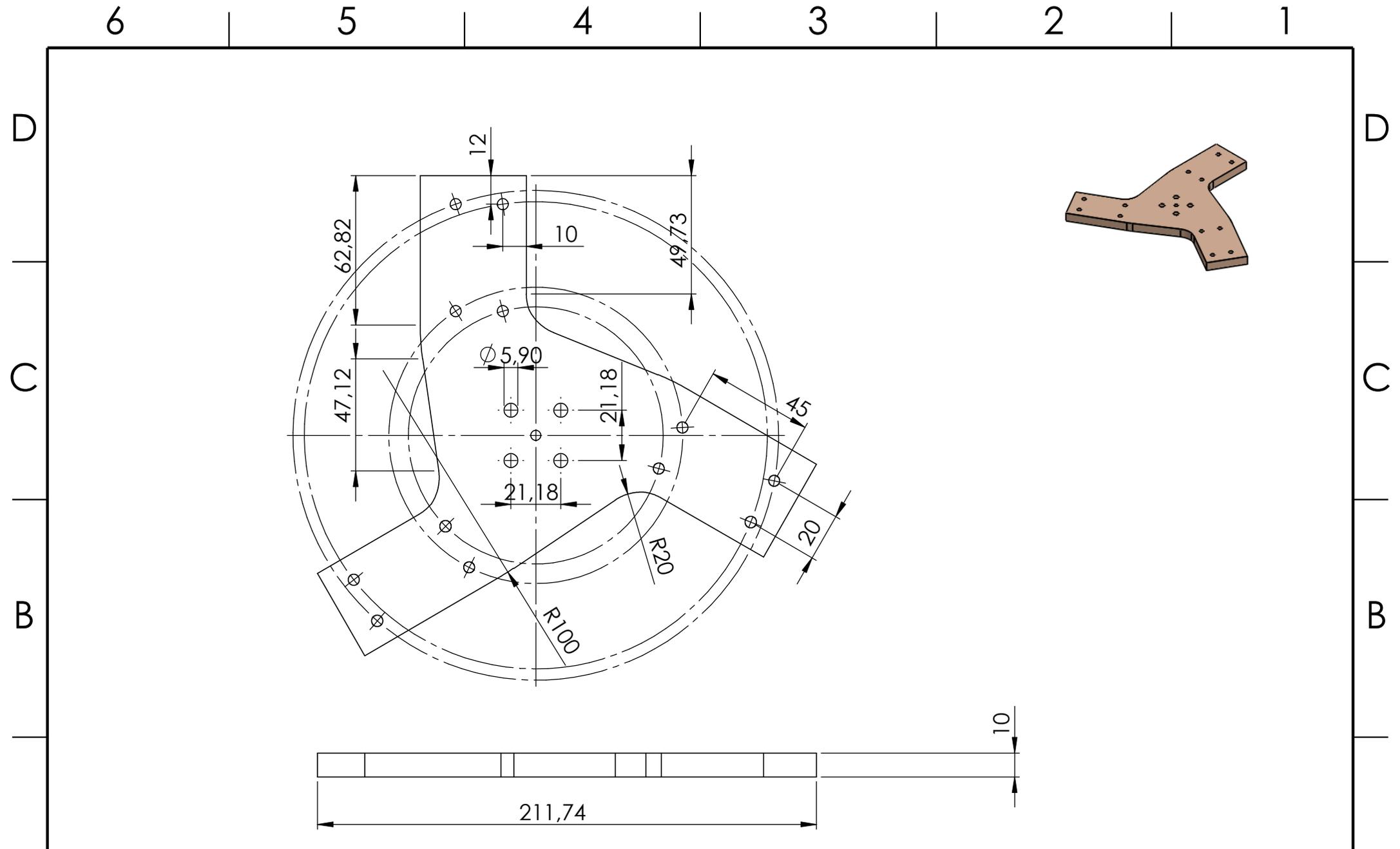
5

4

3

2

1

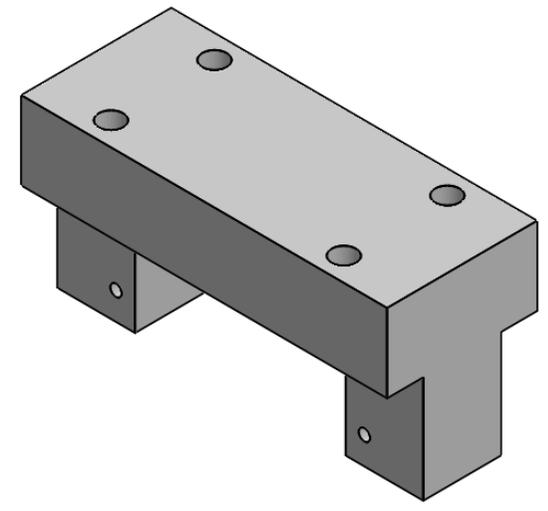
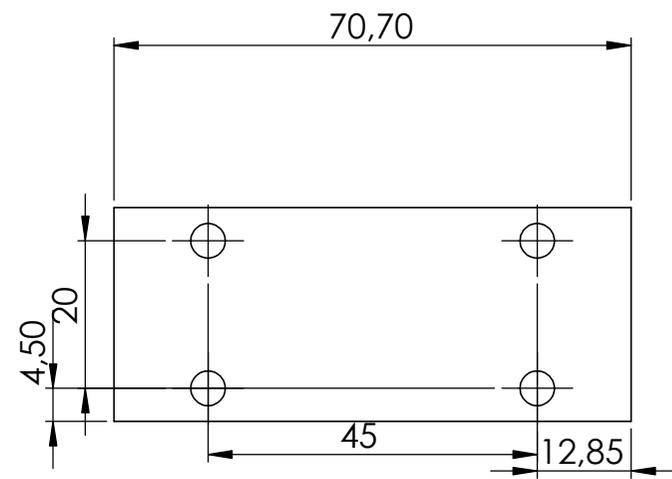


<b>Compañía:</b>	UPCT	<b>Universidad Politécnica de Cartagena</b> 	<b>TÍTULO:</b>	Base superior fija	<b>ESCALA:</b> 1:2
<b>Autor:</b>	Alejandro Liza Borja		<b>MATERIAL:</b>	Madera	<b>HOJA</b> 3 DE 9

6 5 4 3 2 1

D

D

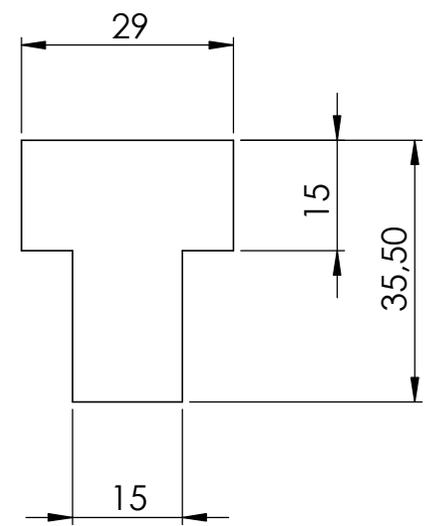
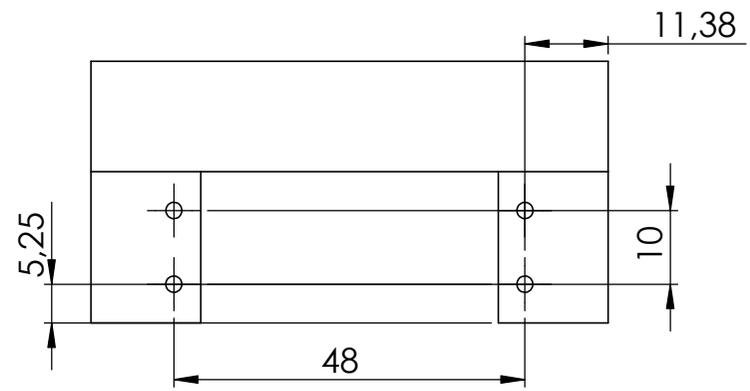


C

C

B

B



A

A

<b>Compañía:</b>	UPCT	<b>Universidad Politécnica de Cartagena</b>		<b>TÍTULO:</b>	Soporte de servo	<b>ESCALA:</b> 1:1
<b>Autor:</b>	Alejandro Liza Borja			<b>MATERIAL:</b>	ABS	<b>HOJA</b> 4 DE 9

6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1

D

D

C

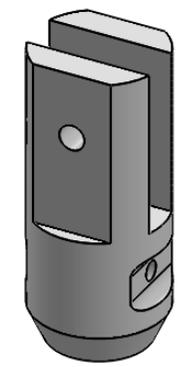
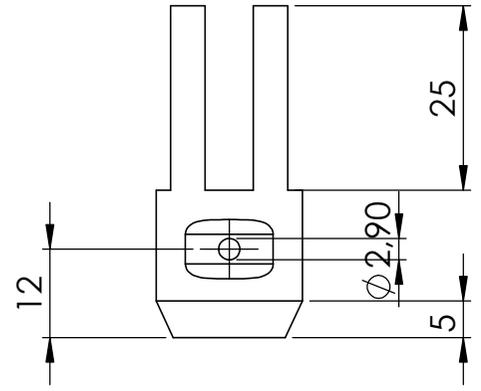
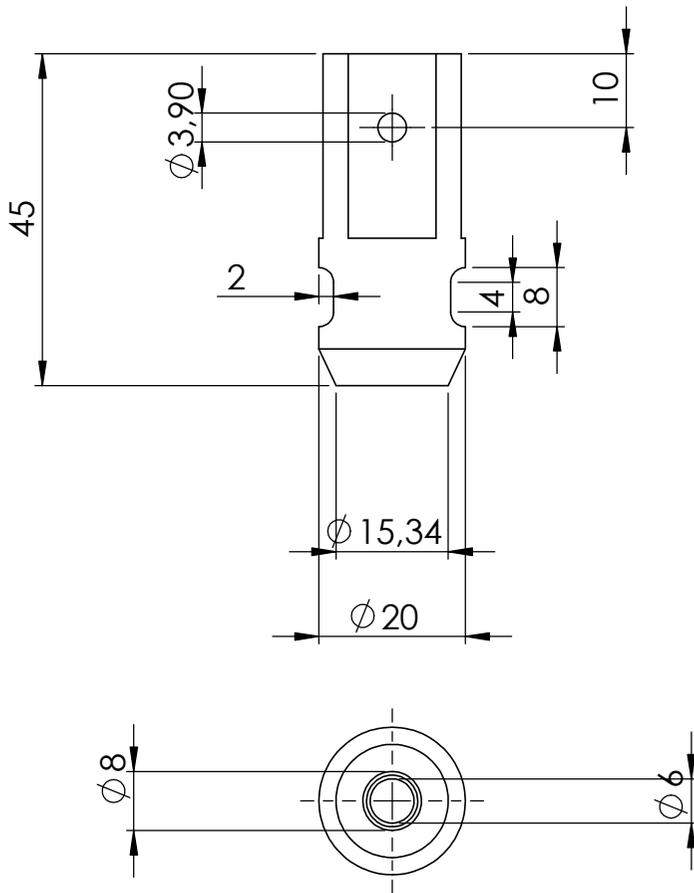
C

B

B

A

A



<b>Compañía:</b>	UPCT	<b>Universidad Politécnica de Cartagena</b>		<b>TÍTULO:</b>	Sujección corta	<b>ESCALA:</b> 1:1
<b>Autor:</b>	Alejandro Liza Borja			<b>MATERIAL:</b>	ABS	<b>HOJA</b> 5 DE 9

6 5 4 3 2 1

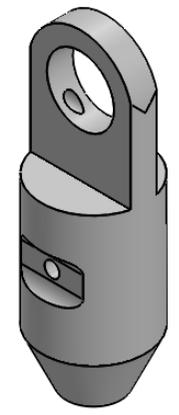
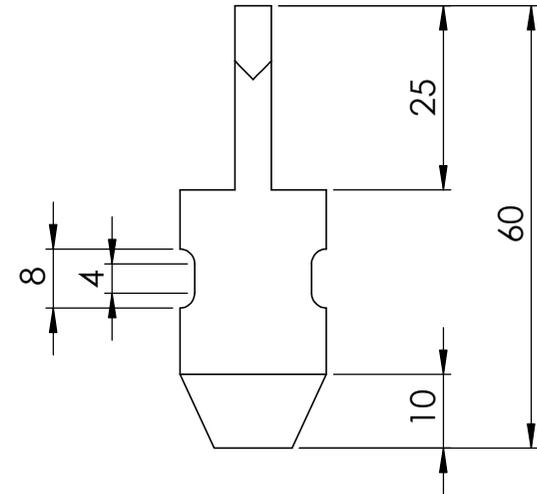
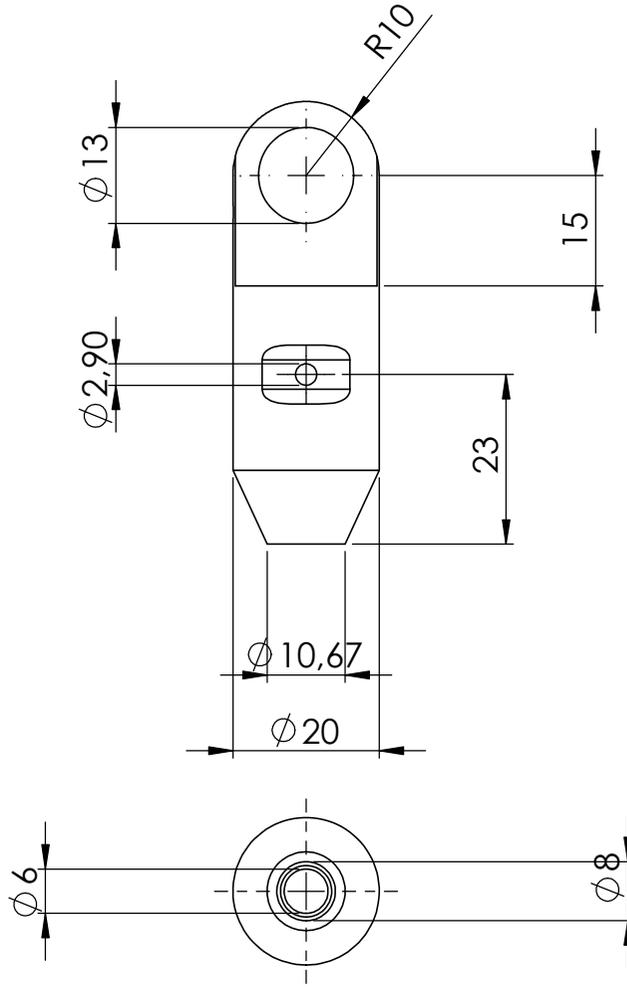
6 5 4 3 2 1

D

C

B

A



D

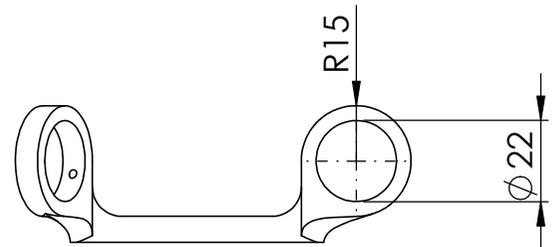
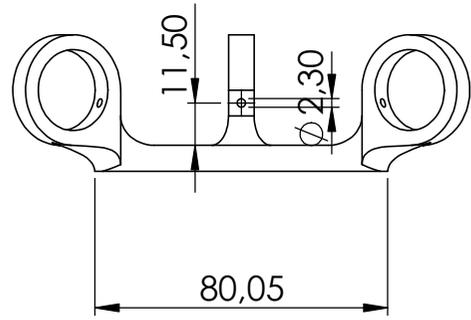
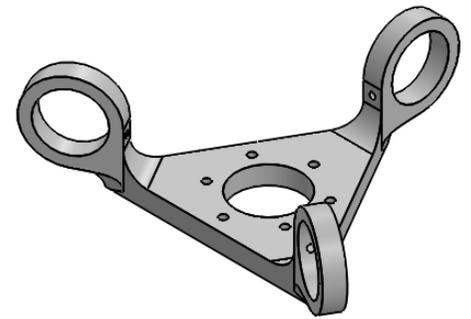
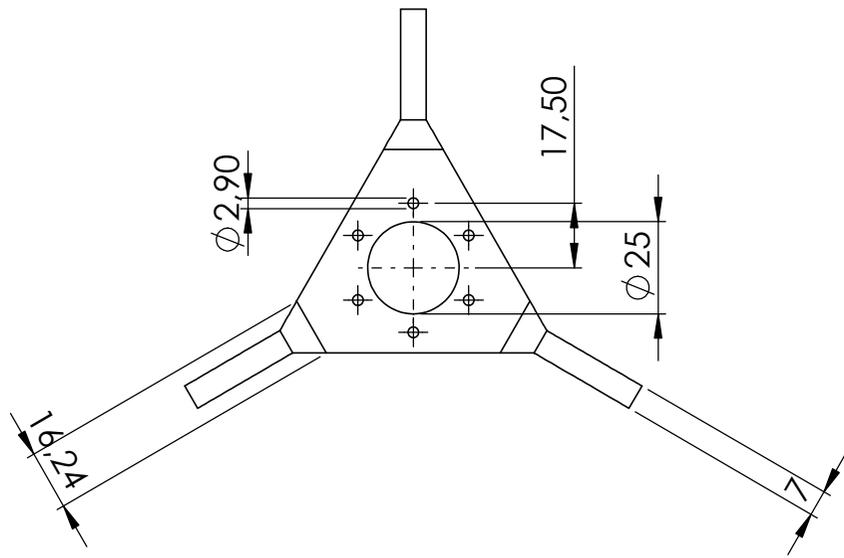
C

B

A

Compañía:	UPCT	<b>Universidad Politécnica de Cartagena</b> 	TÍTULO:	Sujección larga	ESCALA: 1:1
Autor:	Alejandro Liza Borja		MATERIAL:	ABS	HOJA 6 DE 9

6 5 4 3 2 1



Compañía:	UPCT	<b>Universidad Politécnica de Cartagena</b>		TÍTULO:	Base inferior móvil	ESCALA:1:2
Autor:	Alejandro Liza Borja			MATERIAL:	ABS	HOJA 7 DE 9

6

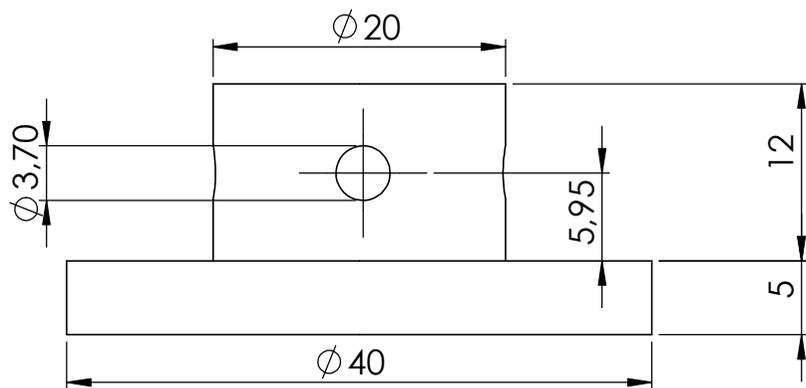
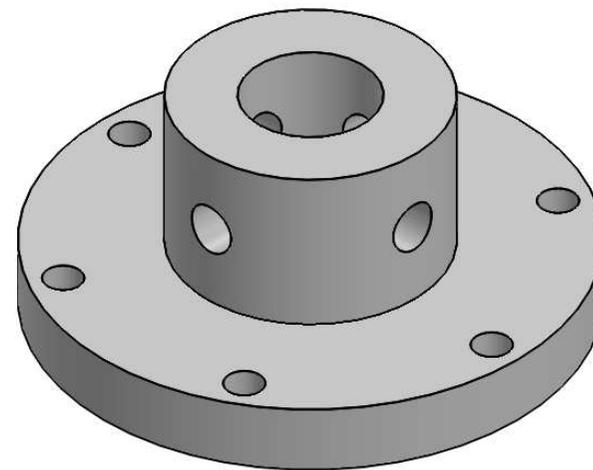
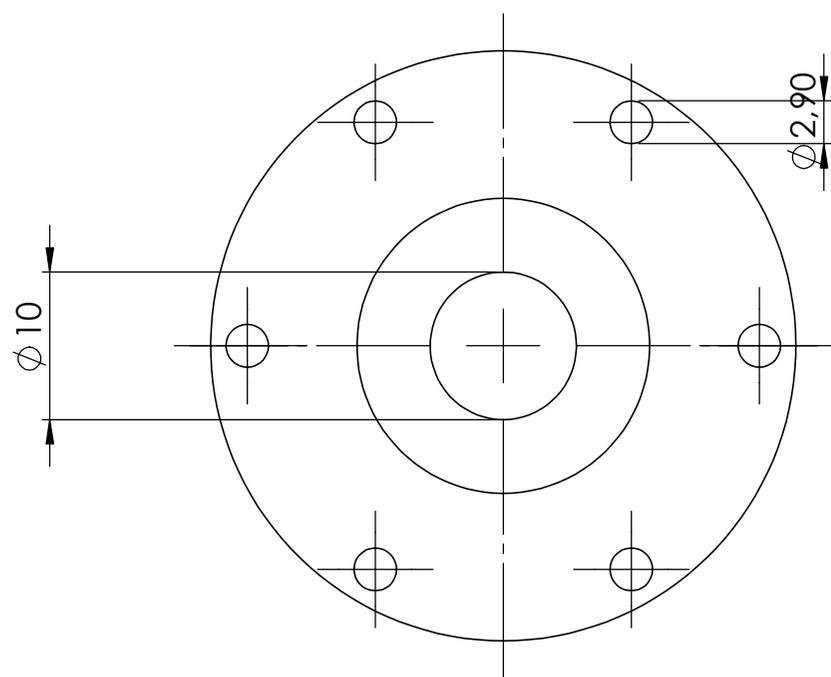
5

4

3

2

1



<b>Compañía:</b>	UPCT	<b>Universidad Politécnica de Cartagena</b>		<b>TÍTULO:</b>	Soporte herramienta	<b>ESCALA:</b> 2:1
<b>Autor:</b>	Alejandro Liza Borja			<b>MATERIAL:</b>	ABS	<b>HOJA</b> 8 DE 9

6

5

4

3

2

1

D

D

C

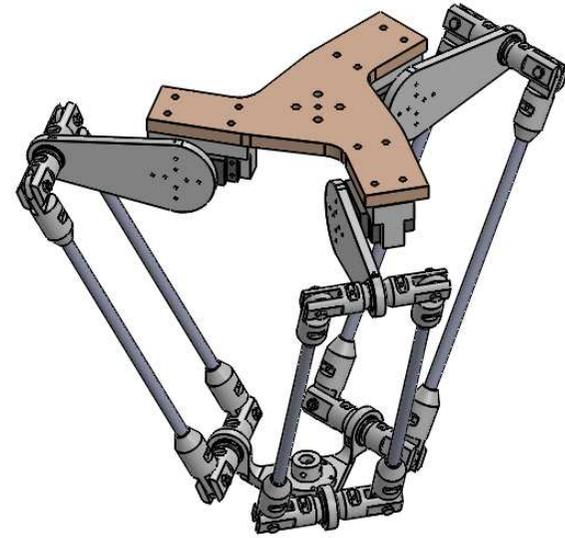
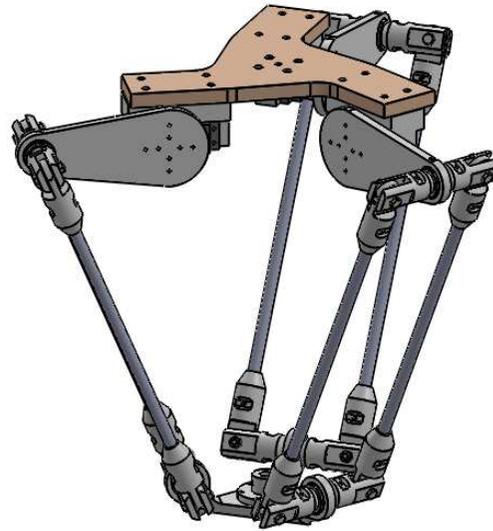
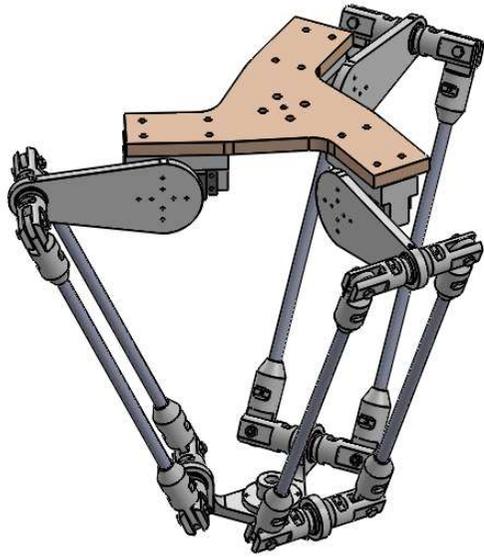
C

B

B

A

A



<b>Compañía:</b>	UPCT	<b>Universidad Politécnica de Cartagena</b> 	<b>TÍTULO:</b>	Estructura Robot Delta	<b>ESCALA:</b> 1:5
<b>Autor:</b>	Alejandro Liza Borja		<b>MATERIAL:</b>	Varios	<b>HOJA</b> 9 DE 9

6

5

4

3

2

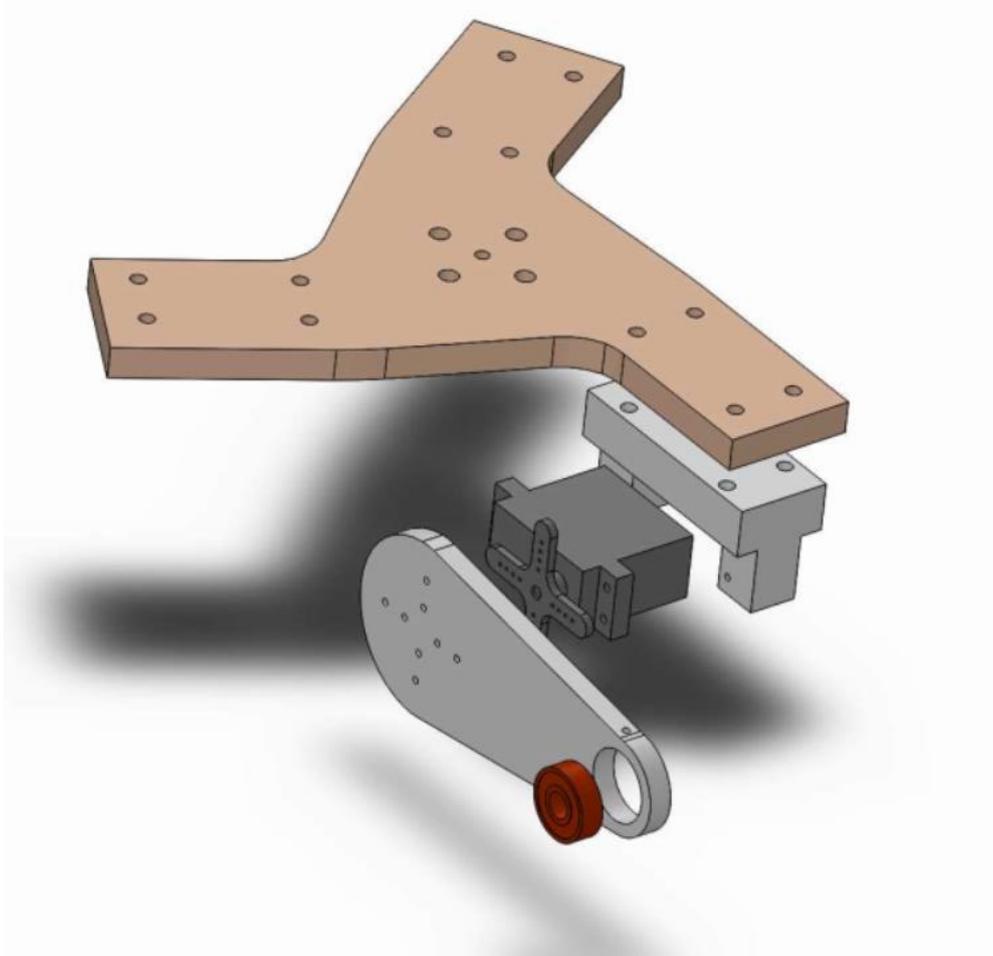
1

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo mecánico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

### 3.3. Instrucciones de montaje

---

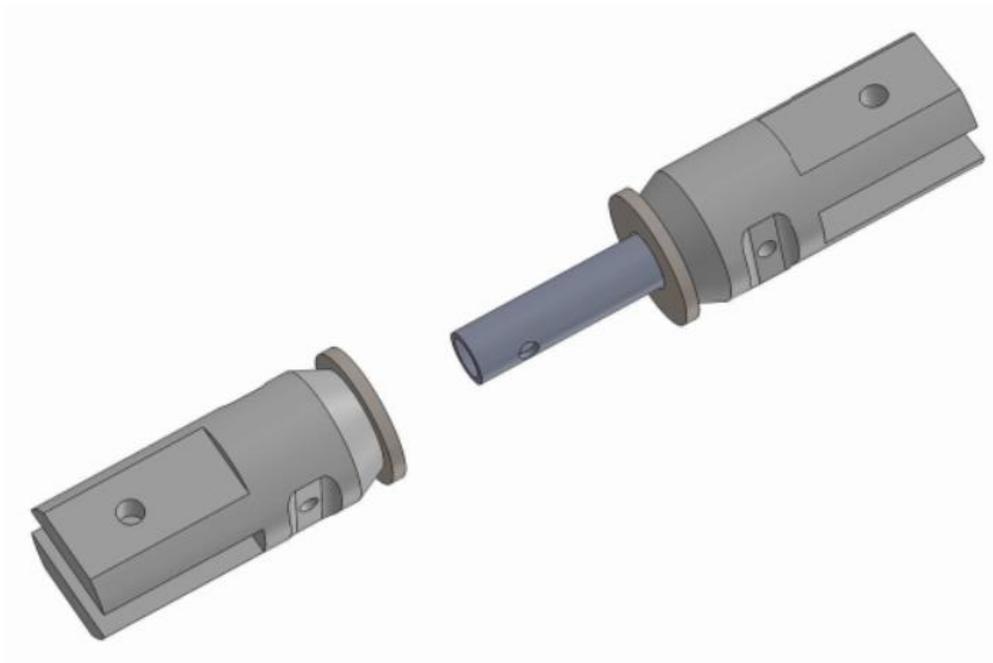
En primer lugar, uniremos mediante tornillos de métrica M5 la base superior al soporte de servo, donde acoplaremos el servo mediante los tornillos incluidos con este. En segundo lugar, procederemos a la colocación del brazo superior del robot que en su extremo incluye un rodamiento de  $r=8\text{mm}$  y  $R=22\text{mm}$ .



**Fig. 16 Parte superior**

Seguidamente montaremos la barra pequeña añadiendo a los laterales las sujeciones cortas y arandelas con cada sujeción. Fijaremos las sujeciones con un tornillo M3.

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo mecánico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT



**Fig. 17 Barra pequeña**

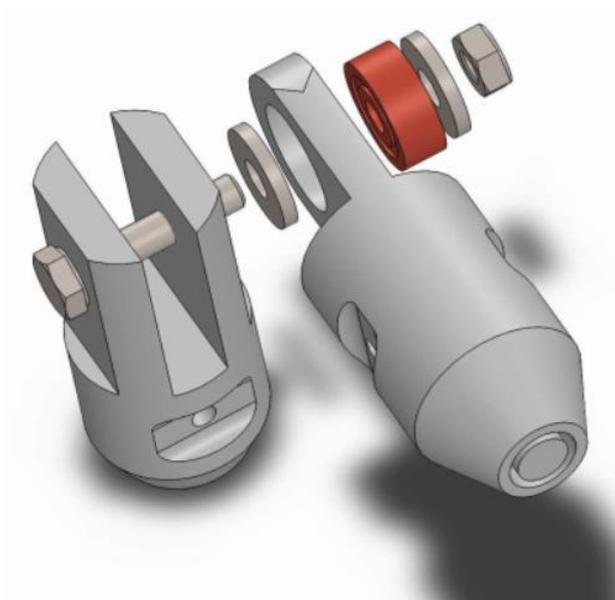
Después montaremos la barra larga añadiéndole solamente la sujeción larga y fijándola con un tornillo M3.



**Fig. 18 Barra larga**

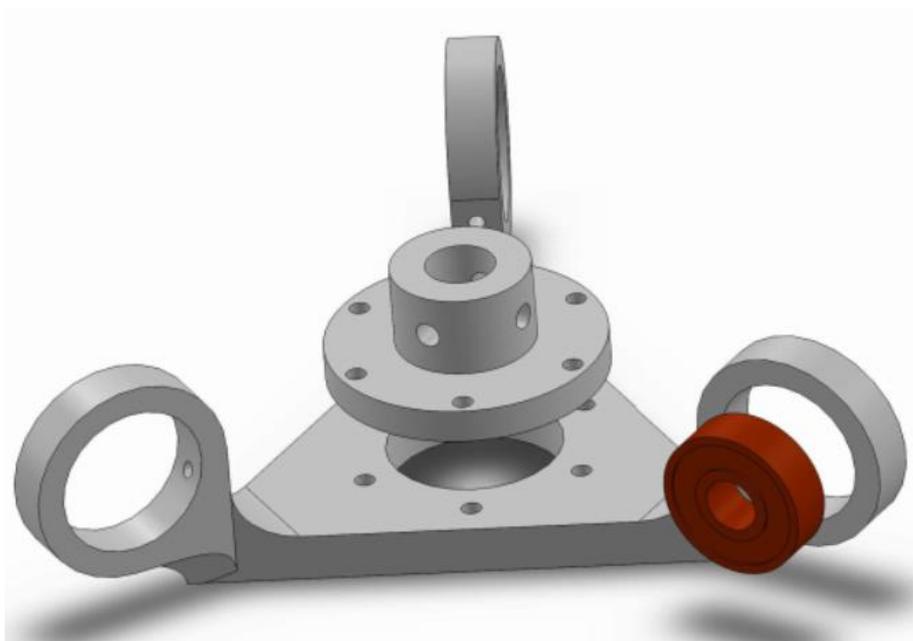
Una vez realizadas las dos barras tendremos que unir las entre sí, para ello en primer lugar pondremos un rodamiento en la sujeción larga y a los lados de este pondremos arandelas, una vez hecho esto lo introduciremos dentro de la sujeción corta y pasaremos un tornillo M4 que apretaremos y dejará fijada la articulación.

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo mecánico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT



**Fig. 19 Unión de sujeciones**

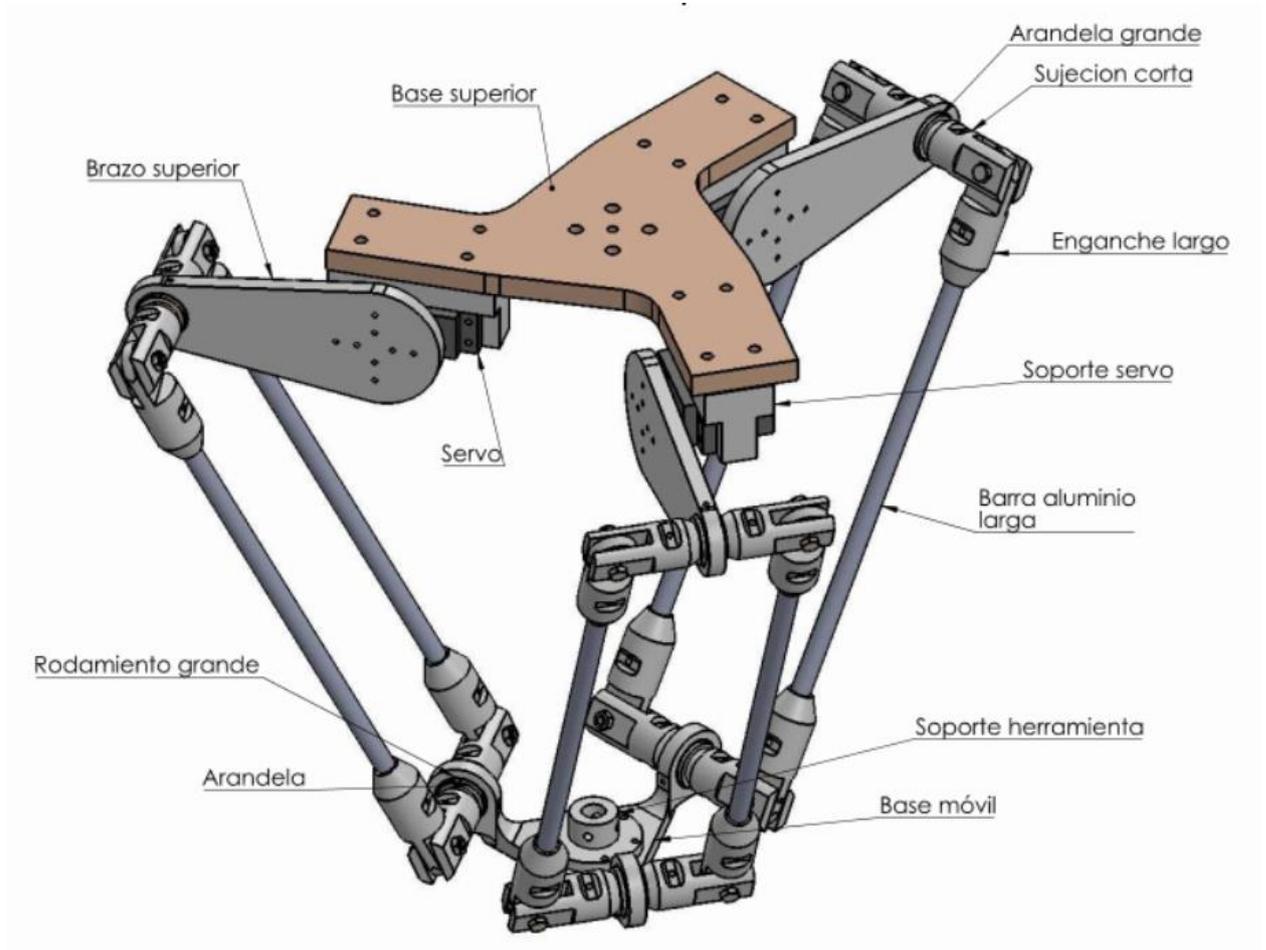
Por último quedaría la base inferior móvil, que habría que poner rodamiento y acoplarle el soporte de la herramienta. Un detalle a tener en cuenta es que en todos los lugares donde se acoplan rodamientos hay pequeños taladros donde poder poner un tornillo que para sujetar correctamente el rodamiento y que no se mueva.



**Fig. 20 Base inferior**

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo mecánico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

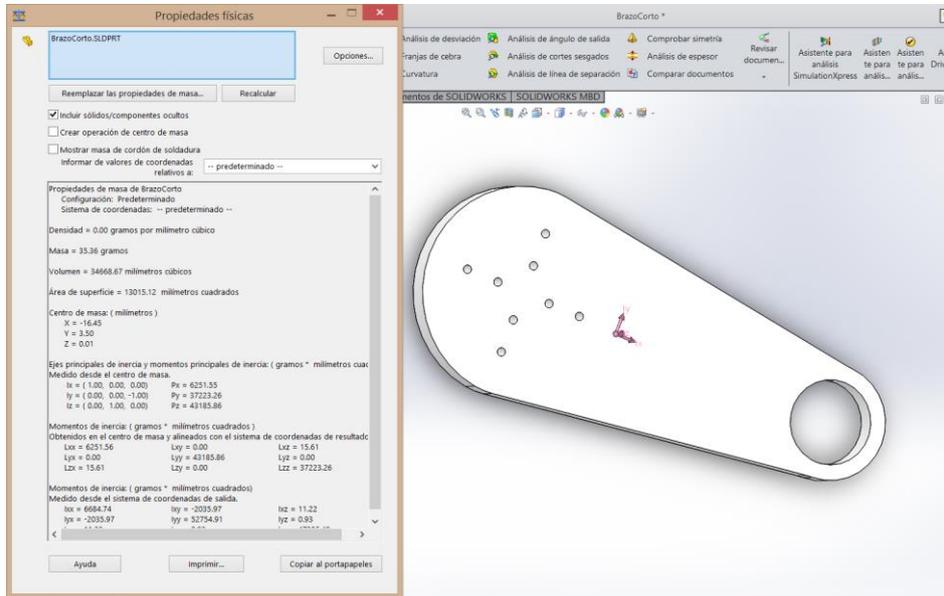
Aquí se encuentra las posiciones generales de las piezas de nuestro robot:



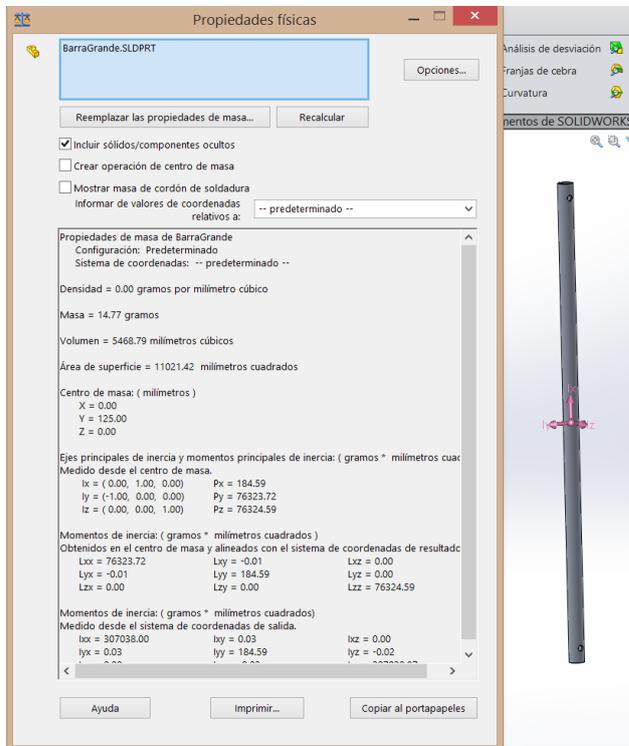
**Fig. 21 Piezas Robot Delta**

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo mecánico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

### 3.4. Cálculo de torque necesario



Masa = 35.36 gramos



Masa = 14.77 gramos

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo mecánico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

**Propiedades físicas**

BarraPequ.SLDPRT

Reemplazar las propiedades de masa... Recalcular

Incluir sólidos/componentes ocultos  
 Crear operación de centro de masa  
 Mostrar masa de cordón de soldadura

Informar de valores de coordenadas relativos a: -- predeterminado --

Propiedades de masa de BarraPequ  
Configuración: Predeterminado  
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico  
Masa = 2.89 gramos  
Volumen = 1070.57 milímetros cúbicos  
Área de superficie = 2224.80 milímetros cuadrados

Centro de masa: ( milímetros )  
X = 0.00  
Y = 25.00  
Z = 0.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Medido desde el centro de masa.

$I_x = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_x = 36.15$
$I_y = (-1.00, 0.00, 0.00)$	$P_y = 612.12$
$I_z = (0.00, 0.00, 1.00)$	$P_z = 613.00$

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultado

$L_{xx} = 612.12$	$L_{yy} = 0.00$	$L_{zz} = 0.00$
$L_{xy} = 0.00$	$L_{yz} = 36.15$	$L_{zx} = 0.00$
$L_{xz} = 0.00$	$L_{zy} = 0.00$	$L_{zz} = 613.00$

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 2418.70$	$I_{yy} = 0.00$	$I_{zz} = 0.00$
$I_{xy} = 0.00$	$I_{yz} = 36.15$	$I_{yz} = 0.00$

Ayuda Imprimir... Copiar al portapapeles

Masa = 2.89 gramos

**Propiedades físicas**

EngancheCorto.SLDPRT

Reemplazar las propiedades de masa... Recalcular

Incluir sólidos/componentes ocultos  
 Crear operación de centro de masa  
 Mostrar masa de cordón de soldadura

Informar de valores de coordenadas relativos a: -- predeterminado --

Propiedades de masa de EngancheCorto  
Configuración: Predeterminado  
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico  
Masa = 9.11 gramos  
Volumen = 8934.69 milímetros cúbicos  
Área de superficie = 4810.82 milímetros cuadrados

Centro de masa: ( milímetros )  
X = 0.00  
Y = 14.55  
Z = 0.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Medido desde el centro de masa.

$I_x = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_x = 471.56$
$I_y = (0.00, 0.00, 1.00)$	$P_y = 1647.05$
$I_z = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_z = 1697.55$

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultado

$L_{xx} = 1697.55$	$L_{yy} = 0.00$	$L_{zz} = 0.02$
$L_{xy} = 0.00$	$L_{yz} = 471.56$	$L_{zx} = 0.00$
$L_{xz} = 0.02$	$L_{zy} = 0.00$	$L_{zz} = 1647.05$

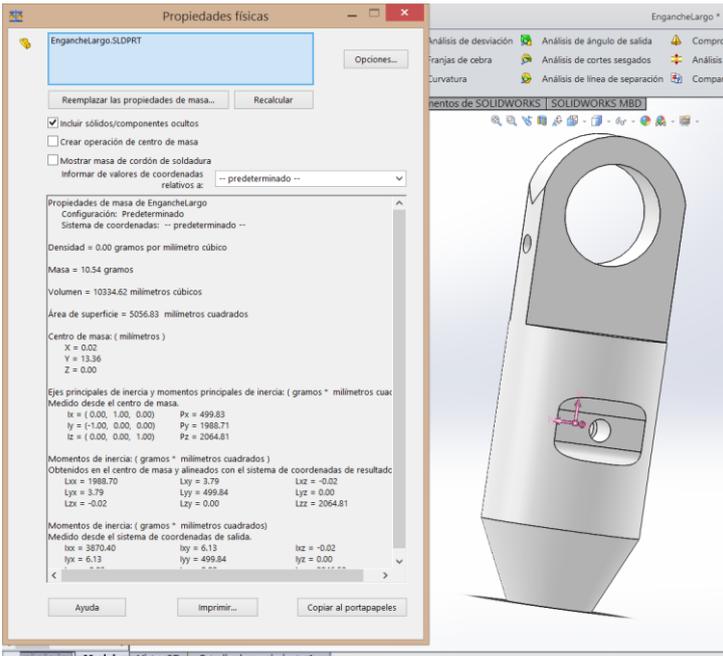
Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 3626.98$	$I_{yy} = 0.00$	$I_{zz} = 0.02$
$I_{xy} = 0.00$	$I_{yz} = 471.56$	$I_{yz} = 0.00$

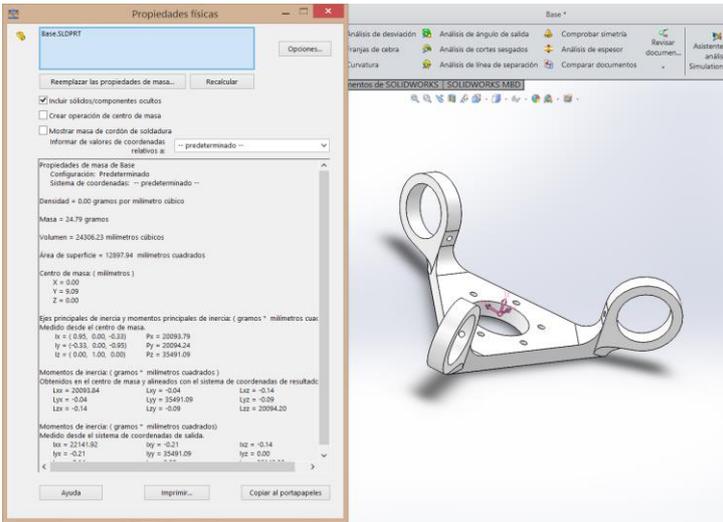
Ayuda Imprimir... Copiar al portapapeles

Masa = 9.11 gramos

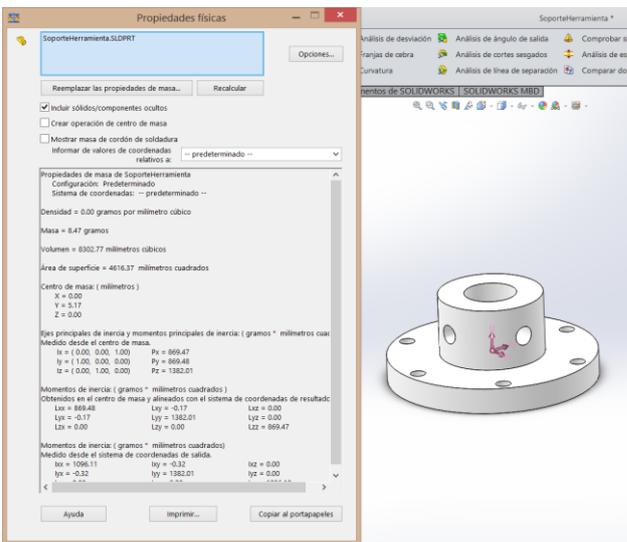
Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo mecánico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT



Masa = 10.54 gramos

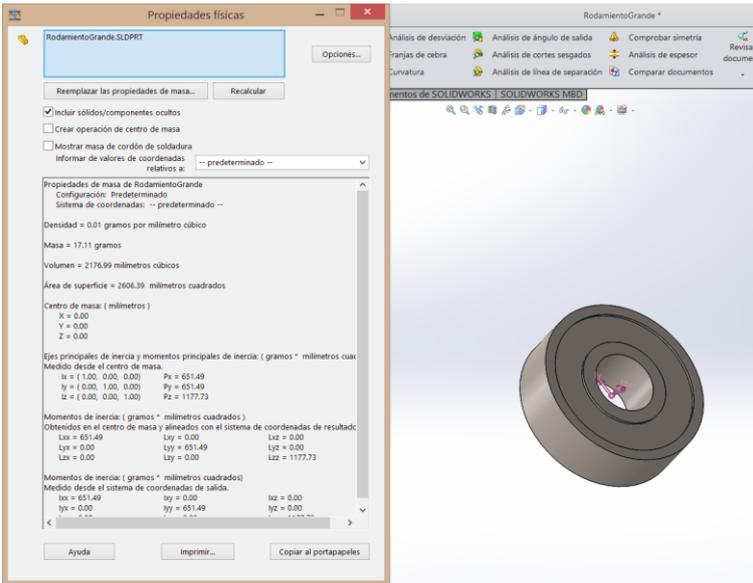


Masa = 24.79 gramos

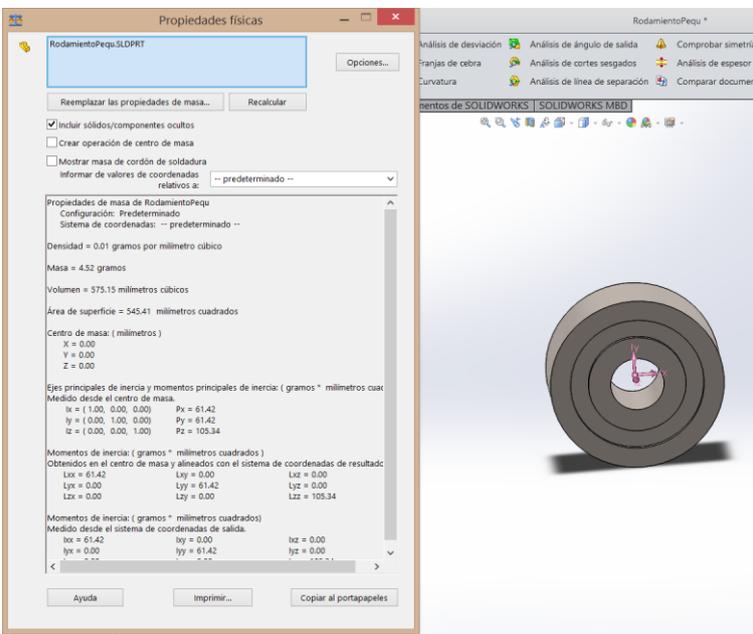


Masa = 8.47 gramos

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo mecánico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT



Masa = 17.11 gramos



Masa = 4.52 gramos

Para hacer el cálculo del torque necesario supondremos una carga puntual, con todos los componentes de un brazo del robot, en el extremo de "La":

1 brazo La = 35.36 g

2 varillas grandes =  $2 \cdot 14.77 \text{ g} = 29.54 \text{ g}$

2 varillas pequeñas =  $2 \cdot 2.89 \text{ g} = 5.78 \text{ g}$

4 sujeciones cortas =  $4 \cdot 9.11 \text{ g} = 36.44 \text{ g}$

4 sujeciones largas =  $4 \cdot 10.54 \text{ g} = 42.16 \text{ g}$

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo mecánico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

2 Rodamientos grandes =  $2 \cdot 17.11 \text{ g} = 34.22 \text{ g}$

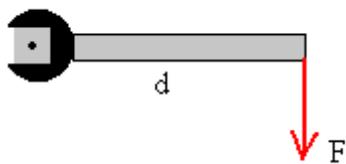
4 Rodamientos pequeños =  $4 \cdot 4.52 \text{ g} = 18.08 \text{ g}$

1 base móvil =  $24.79 \text{ g}$

1 soporte de herramienta =  $8.47 \text{ g}$

Total=  $234.84 \text{ g}$

Ahora calcularemos el momento necesario para mover la masa total suponiendo la carga puntual en el extremo:



$$M = F \cdot d = 0.09 \cdot 0.23484 \cdot 9.81 = 0.207 \text{ Nm}$$

El motor elegido tiene el siguiente torque:

$$\text{Motor} = 0.657 \text{ Nm}$$

Podemos decir que es suficiente y ahora calcularemos cuanto peso podemos poner en la herramienta como máximo:

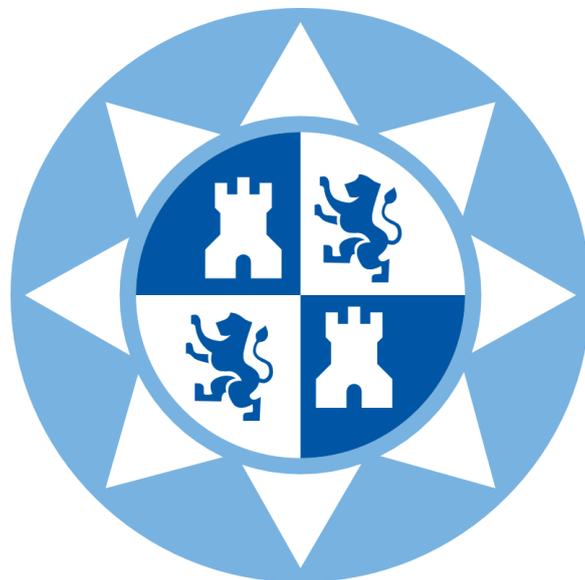
$$\text{Peso} = 0.657 / 0.09 = 7.3 \text{ N} \rightarrow 7.3 / 9.8 = 0.745 \text{ kg}$$

Si le restamos el peso del mecanismo podremos tener una carga máxima de  $0.5 \text{ kg}$

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo electrónico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## 4. Desarrollo electrónico

---



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

TFG

ALEJANDRO LIZA BORJA

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo electrónico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo electrónico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## Contenido

4.	Desarrollo electrónico .....	67
4.1	Introducción .....	70
4.2	Planos electrónicos .....	70
4.2.1	Alimentación .....	71
4.2.2	Control.....	72
4.2.3	Mando .....	73
4.2.4	Servos .....	74
4.3	Diseño PCB .....	77
4.3.1	Grosor de pistas .....	77
4.3.2	PCB .....	78

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo electrónico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## 4.1 Introducción

---

La parte de electrónica la podemos dividir en primer lugar en la parte de potencia, que está dividida en la alimentación de los servos y la alimentación del microcontrolador. Mirando en las especificaciones técnicas vemos como cada servo necesita 1,5 A para poder trabajar, por lo que se decide comprar 3 fuentes de 6V 2A las cuales conectaremos en paralelo para poder alimentar los 3 servos que conectaremos.

Después tendríamos que alimentar el micro que con una fuente de 9V 2A sería más que suficiente, ya que los servos y el micro tendrían alimentaciones independientes.

Para la parte de control hemos escogido el microcontrolador Arduino Mega 2560 por su potencia y numerosas I/O, además de su conexión con Matlab, desde donde realizaremos el programa de control y la interfaz HMI.

También se ha decidido realizar un mando de control, desde donde poder controlar de forma manual el robot y definirle los puntos por los que debe ir en su trayectoria.

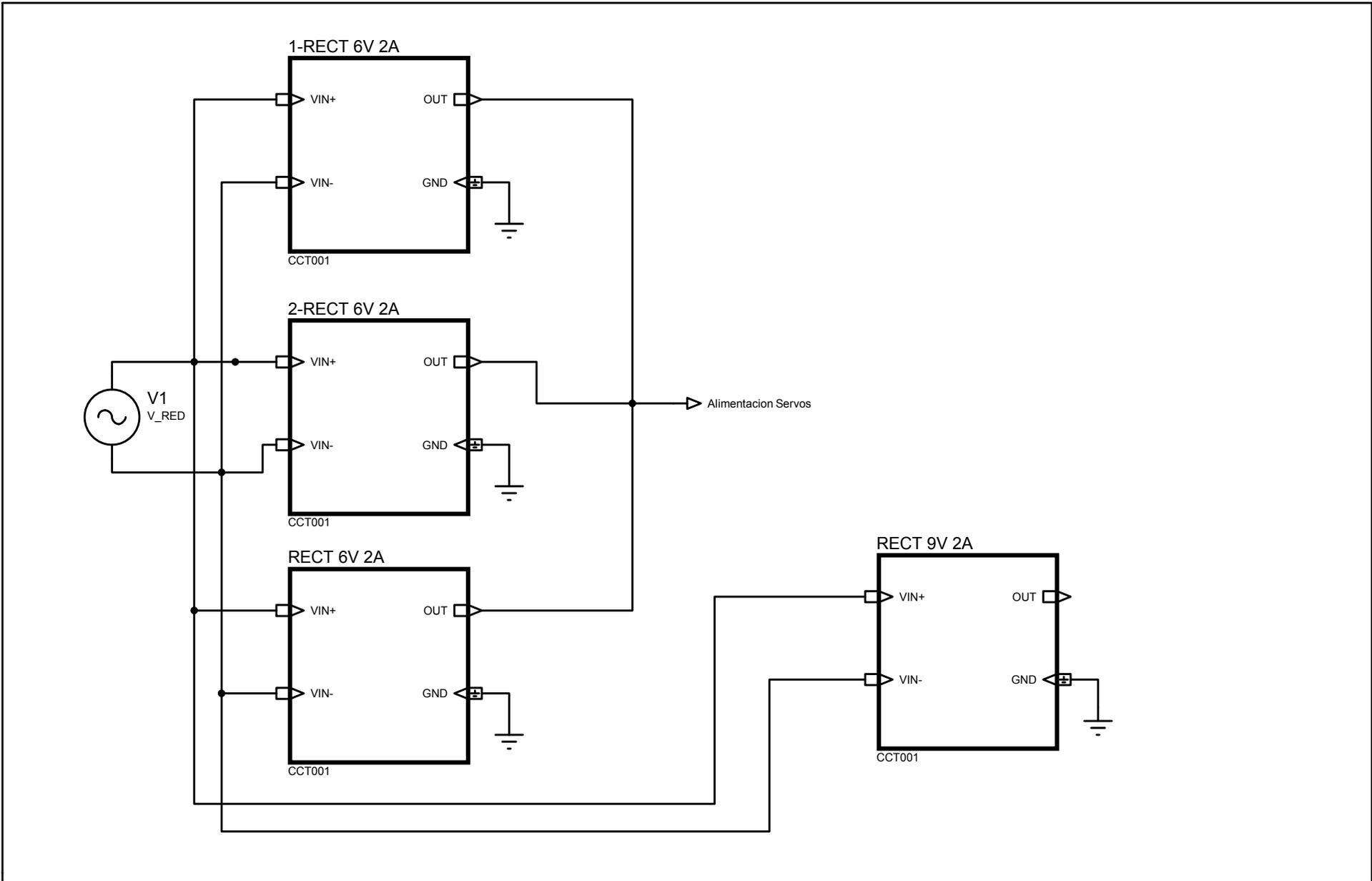
Por último, incluiremos 3 servos para controlar la posición del robot. El modelo de servo es Power HD-6001HB.

## 4.2 Planos electrónicos

---

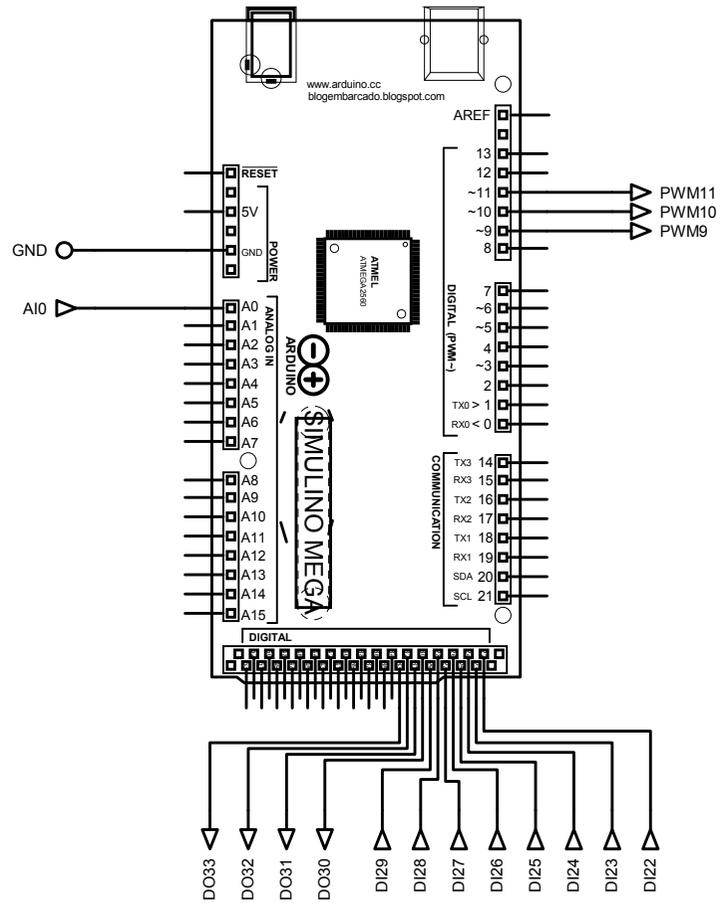
Para la realización de los esquemas eléctricos se ha utilizado el programa PROTEUS donde encontraremos:

Alimentación.....	Hoja n° 1
Control.....	Hoja n° 2
Mando.....	Hoja n° 3
Servos.....	Hoja n° 4

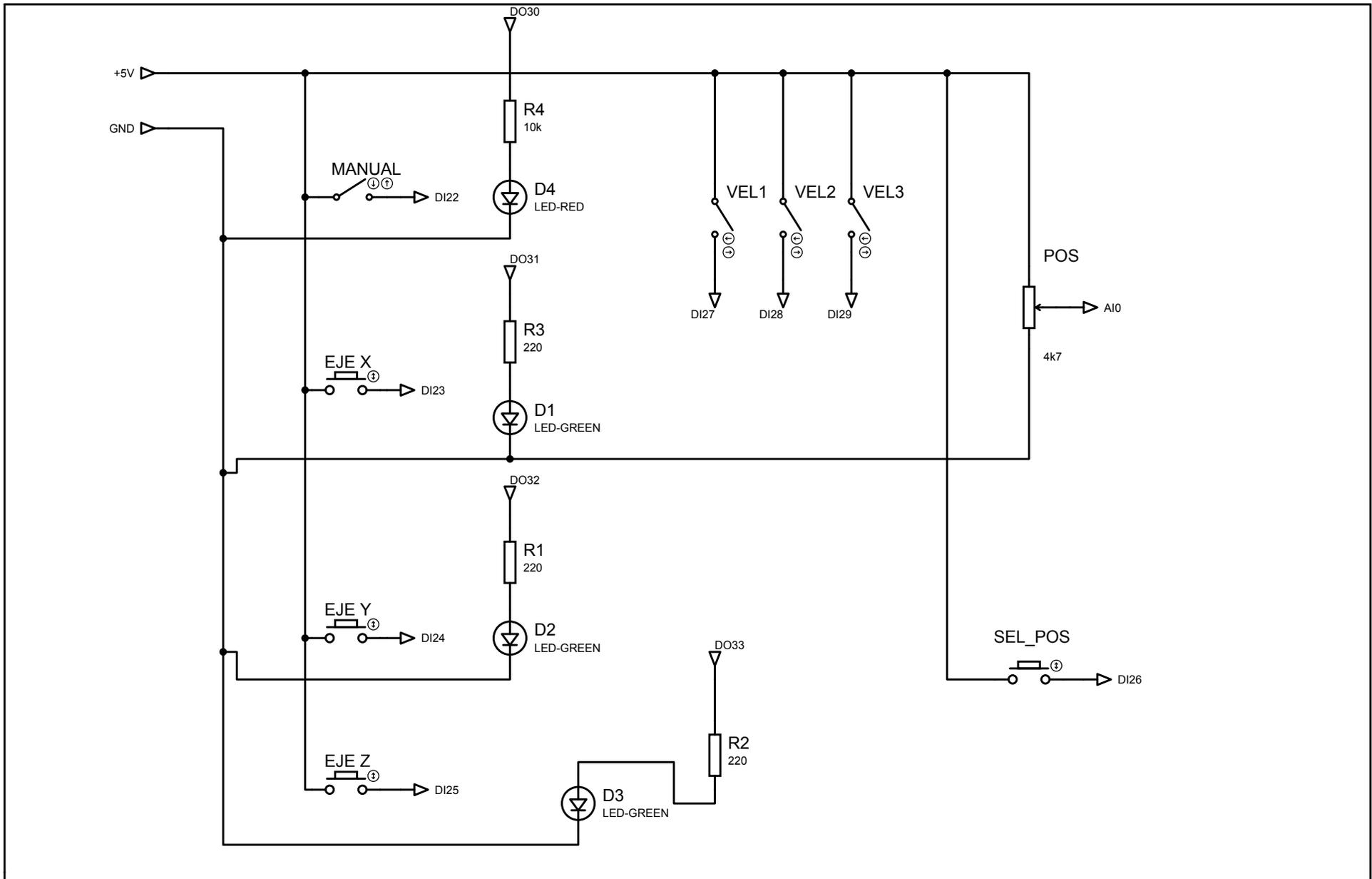


<b>Compañía:</b>	UPCT	Universidad Politécnica de Cartagena 	<b>Título:</b>	Planos Electrónicos
<b>Autor:</b>	Alejandro Liza Borja		<b>Sección:</b>	Alimentación

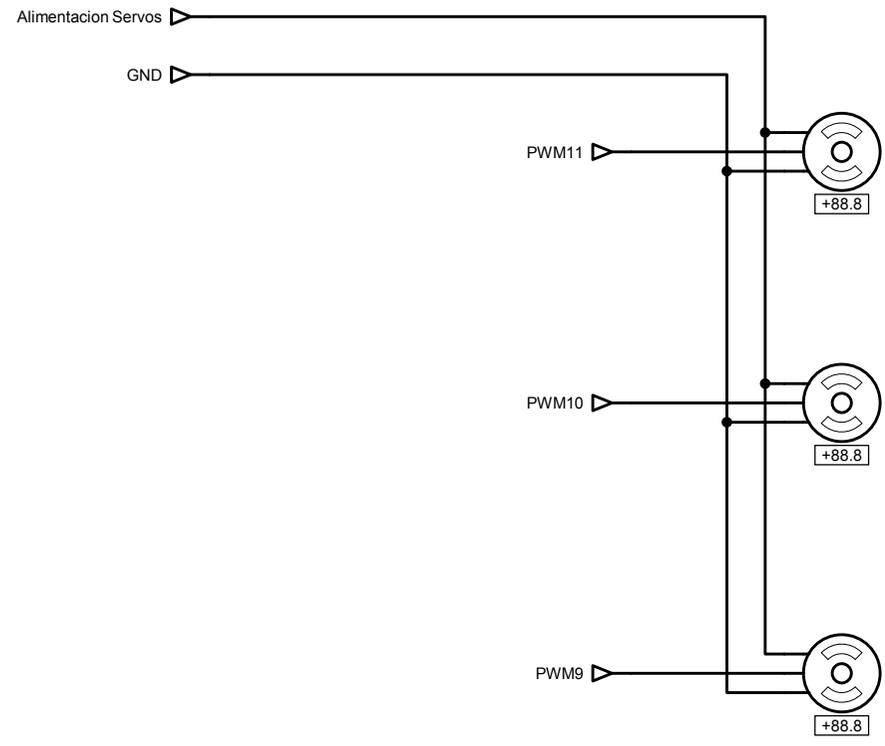
SIM1  
SIMULINO MEGA



<b>Compañía:</b>	UPCT	Universidad Politécnica de Cartagena 	<b>Título:</b>	Planos Electrónicos
<b>Autor:</b>	Alejandro Liza Borja		<b>Sección:</b>	Control



<b>Compañía:</b>	UPCT	Universidad Politécnica de Cartagena 	<b>Título:</b>	Planos Electrónicos
<b>Autor:</b>	Alejandro Liza Borja		<b>Sección:</b>	Mando

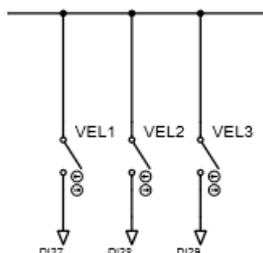


<b>Compañía:</b>	UPCT	Universidad Politécnica de Cartagena 	<b>Título:</b>	Planos Electrónicos
<b>Autor:</b>	Alejandro Liza Borja		<b>Sección:</b>	Servos

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo electrónico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

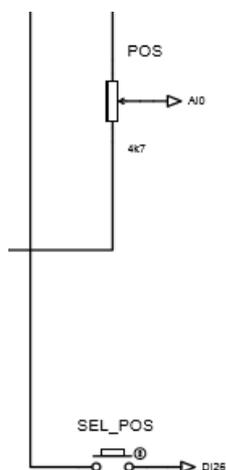
#### 4.2.5 Anotaciones

A lo comentado anteriormente, detallaremos cómo funciona el mando de control. En primer lugar, tenemos los selectores de velocidad:



Cerraremos un interruptor según la velocidad en modo manual con la que queramos mover el robot, es decir, será la velocidad con la que alcanzaremos los puntos de nuestra trayectoria cuando hacemos el guiado inicial. En el caso de que haya varios interruptores cerrados, tendrá prioridad la velocidad más lenta.

Otra parte sería el potenciómetro de posición cuya labor es avanzar o retroceder en el eje que elijamos y una vez hayamos alcanzado el punto deseado lo seleccionaremos mediante el botón de selección de posición.

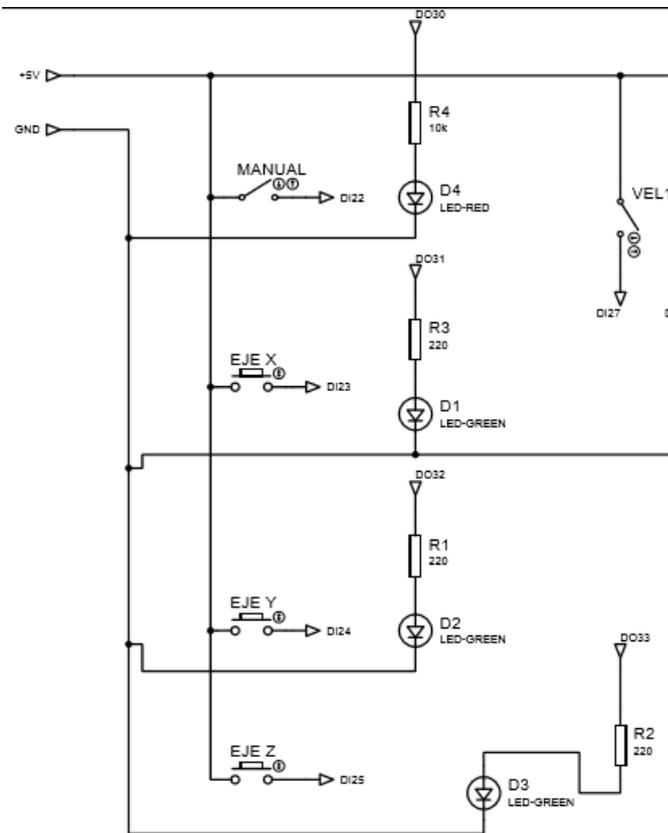


Pero antes de todos estos movimientos deberemos en primer lugar activar el interruptor de modo manual(guiado), que nos habilitará el proceso de búsqueda de puntos para guiado. Cuando este seleccionado activaremos un led que nos indique que el modo esta correcto y podemos empezar a realizar el guiado de nuestro robot.

Una vez activado el modo manual deberemos escoger en que eje nos queremos mover mediante los pulsadores de selección de ejes. El eje seleccionado será indicado

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Desarrollo electrónico
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

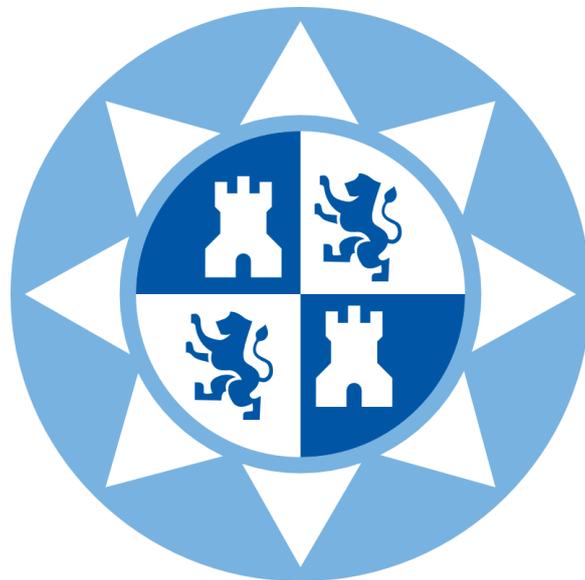
mediante un indicador luminoso. Una vez realizadas estas selecciones podremos utilizar el potenciómetro anteriormente descrito para movernos eje a eje.



Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Programa y HMI
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## 5 Programación y HMI

---



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

TFG

ALEJANDRO LIZA BORJA

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Programa y HMI
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Programa y HMI
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## Contenido

5	Programación y HMI.....	77
5.1	Introducción .....	80
5.1.1	HMI.....	80
5.2	Pantalla.....	81
5.3	Código.....	83

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Programa y HMI
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## 5.1 Introducción

---

Para el desarrollo de nuestro proyecto hemos escogido realizarlo mediante Matlab debido a sus herramientas de programación, conexión con arduino y creación de interfaces de usuario que nos permitirán controlar nuestro robot fácilmente.

### 5.1.1 HMI

Las interfaces básicas de usuario son aquellas que incluyen elementos como menús, ventanas, contenido gráfico, cursor, los *beeps* y algunos otros sonidos que la computadora hace, y en general, todos aquellos canales por los cuales se permite la comunicación entre el ser humano y la computadora.

La mejor interacción humano-máquina a través de una adecuada interfaz (de usuario), que le brinde tanto comodidad, como eficiencia.

El principal objetivo de una interfaz de usuario es que este pueda comunicar información a través de ella hacia algún tipo de dispositivo o sistema. Conseguida esta comunicación, el siguiente objetivo es el que dicha comunicación se desarrolle de la forma más fácil y cómoda posible para las características del usuario que utiliza el servicio.

Sin embargo, las interfaces no siempre cumplen todos los objetivos, por ejemplo: como es el caso de las consolas de línea de órdenes (CLI), que se encuentran en algunos sistemas de encaminadores (como los NOS de los *routers*); algunas consolas de administración con sus intérpretes de comandos (*shell*) de Unix, DOS, etcétera; y también en las consolas de administración de algunos servidores dedicados como Microsoft Exchange Server. Estas interfaces son fáciles de usar, sin embargo, se necesita un amplio conocimiento de la persona que las utiliza. Por lo que, tanto su curva de aprendizaje, como el conocimiento técnico previo a su uso impiden que puedan ser utilizadas por cualquier persona.

Si bien estas interfaces son las primeras que utilizaron las computadoras, y muchos usuarios podrían considerarlas anticuadas, siguen siendo incluidas en nuevos dispositivos y sistemas gracias a las ventajas que ofrecen al permitir automatizar acciones complejas mediante la creación de pequeños programas de bajo nivel (conocidos como *Script* o *Batch*).

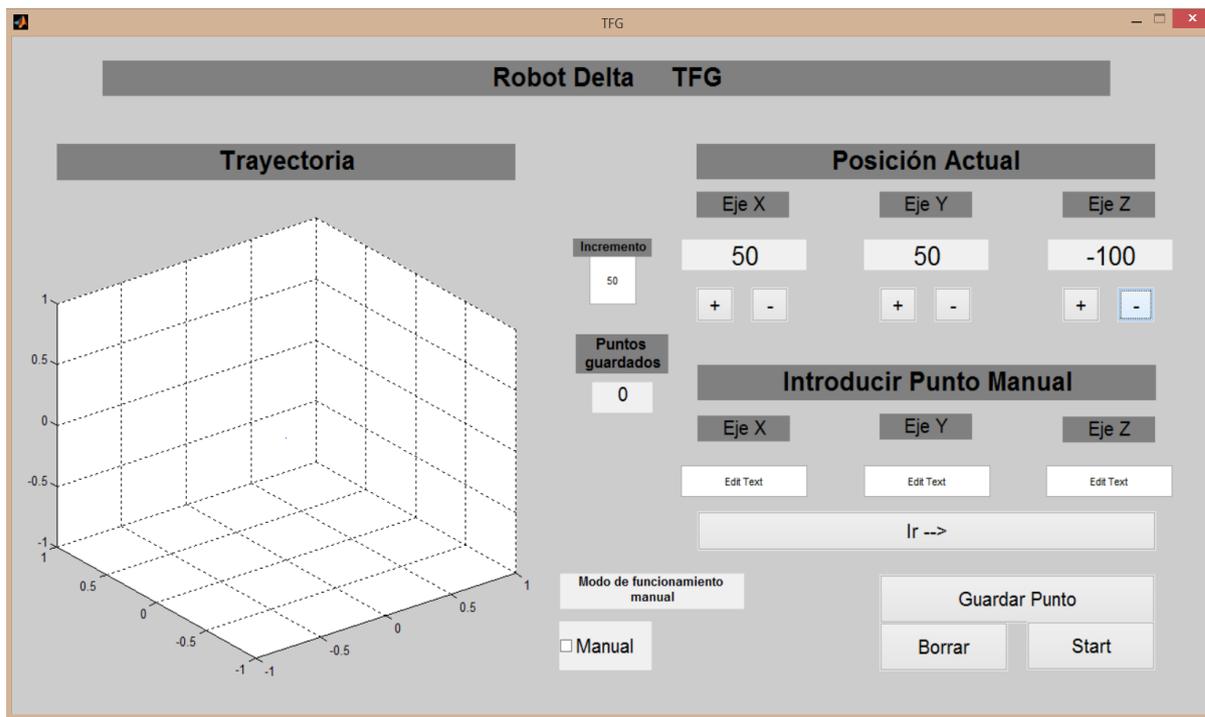
Por otra parte, existen interfaces que reducen significativamente la curva de aprendizaje y permiten que usuarios sin experiencia y sin conocimientos técnicos puedan obtener resultados notables, por ejemplo: la interfaz táctil utilizada por los sistemas operativos de iOS y Android.

Si bien el diseño de la interfaz es crítico para el manejo del dispositivo, los diseñadores al momento de su creación ponen especial énfasis en determinar el tipo de usuario, su conocimiento y su experiencia. Esto marcará importantes diferencias entre la interfaz de línea de comandos de un gestor de correo electrónico, los menús flotantes para una aplicación de diseño gráfico o bien el despliegue de información mediante una línea de tiempo en una red social.

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Programa y HMI
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## 5.2 Pantalla

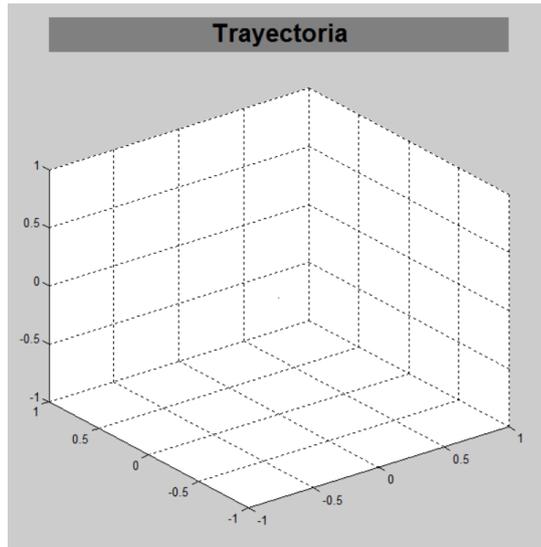
Hemos creado la pantalla que se muestra a continuación (Fig 22) para poder controlar los movimientos del robot desde el ordenador y tener así una HMI que sea sencilla y que permita a cualquiera utilizar el robot sin complicaciones. Este tipo de entornos se hace imprescindible para este tipo de aplicaciones debido a la simplificación que supone el manejo de estas aplicaciones a través de estos entornos.



**Fig. 22 Pantalla de usuario**

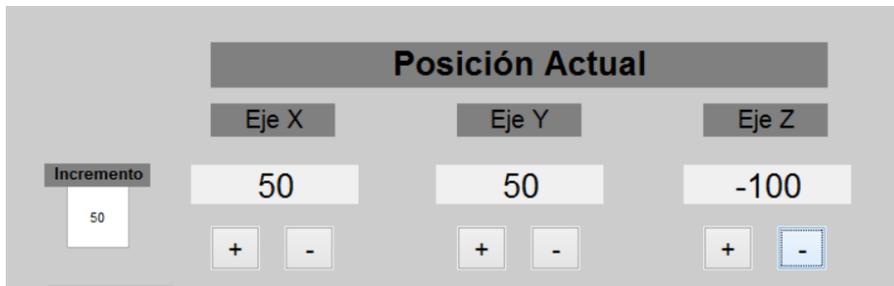
En primer lugar, tenemos en la zona de la izquierda un gráfico tridimensional (Fig 23) el cual conforme vayamos almacenando puntos irá representando la trayectoria que recorrerá el robot y donde podremos verla de forma más visual.

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Programa y HMI
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT



**Fig. 23 Trayectoria**

En la posición superior derecha (Fig 24) nos encontraremos con el menú de posición actual el cual refleja la posición actual del robot, Esta posición la podemos ir variando nosotros de forma manual, para ello en primer lugar deberemos escoger los saltos de distancia (en mm) en el menú **Incremento**, después ese incremento podremos restarlo y sumarlo a la posición actual, con lo que el robot recibirá la orden de posicionarse en la posición especificada



**Fig. 24 Movimiento manual 1**

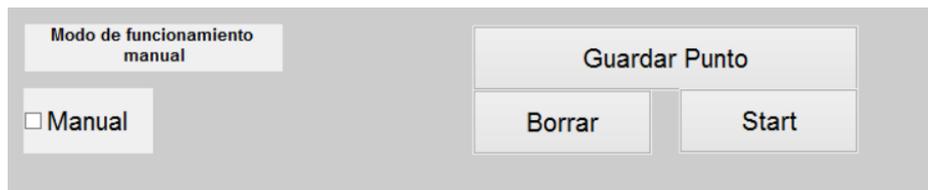
Otra manera de posicionarse en una posición sería con el menú de la Fig 25, en este menú podremos introducir el punto especificando sus coordenadas y al pulsar el botón **Ir** el robot se posicionará en el punto especificado.



**Fig. 25 Movimiento manual 2**

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Programa y HMI
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

Por último tenemos los botones de la parte inferior derecha, con ellos podremos escoger si queremos mover el robot de forma manual o que ejecute un ciclo automático, guardar los puntos que queramos para posteriormente hacer una trayectoria definida por los puntos que hemos guardado, después podemos borrar los puntos almacenados para empezar de nuevo y por último empezar la secuencia de la trayectoria definida por los puntos almacenados con el botón Start (Fig 26).



**Fig. 26 Comandos de control**

## 5.3 Código

---

Se adjunta un archivo con el código y todos los comentarios explicando el proceso. Lo único que hay que tener en cuenta es cómo funciona la programación del GUIDE de Matlab. Se tratan de objetos que al seleccionarlos hacen el código que tienen asociado, por lo que cada botón de la pantalla ejecuta su parte de código solamente. Otra cosa que se debe de tener en cuenta a la hora de trabajar en el GUIDE de Matlab es que todas las variables que queramos que se guarden para varios procesos deben de guardarse en la estructura handles del programa, la cual incluye todas las variables y datos de nuestro programa.

Título:	Desarrollo de Robot Delta	Capítulo:	Programa y HMI
Autor:	Alejandro Liza Borja	Cliente:	UPCT

## PRESUPUESTO

Alejandro Liza Borja  
Presupuesto TFG  
Murcia  
[alejandro.liza.borja@gmail.com](mailto:alejandro.liza.borja@gmail.com)

Cliente  
UPCT  
DPTO. ING<sup>a</sup> SISTEMAS Y AUTOMÁTICA  
C/Dr Fleming S/N  
30202 Cartagena  
Q8050013E

Dirección de entrega  
UPCT  
DPTO. ING<sup>a</sup> SISTEMAS Y AUTOMÁTICA  
C/Dr Fleming S/N  
30202 Cartagena

Numero Presupuesto	Fecha Presupuesto
001/2016	12/06/2016

Observaciones

No se tendra en cuenta la mano de obra necesaria para la realizacion del robot

Productos	Unidades	Precio/Unidad	Total
3 en 1 200ml - SPRAY	1	3,95 €	3,95 €
Tubo redondo aluminio Anodizado 8x1 1m	3	1,80 €	5,40 €
20 T.METRICA C. HEXAGONAL A. CINC 4x20	1	2,00 €	2,00 €
150 ARANDELA PLANA ESTR. A. ZINC. D. 3.	1	1,38 €	1,38 €
100 ARANDELA PLANA ESTR. A. ZINC. D. 4.	1	1,43 €	1,43 €
20 ARANDELA PLANA ESTR. A. ZINC. D. 8.	1	1,43 €	1,43 €
30 T. METRICA C. CILIND. HEND A.CINC. 3x20	1	1,59 €	1,59 €
SOLDAD METAL FRIO 2x11 ML	1	7,25 €	7,25 €
30 T. METRICA C. CILIND. HEND A.CINC. 2.5x20	1	1,59 €	1,59 €
30 T. METRICA C. AVELLAN A. ZINC 2.5x8	1	1,59 €	1,59 €
TABLERO ABETO A=60 B=30 C=1.8 CM	1	6,30 €	6,30 €
SERVO POWER HD 6001HD	3	17,40 €	52,20 €
RODAMIENTO 8x22	6	4,60 €	27,60 €
RODAMIENTO 8x13	12	4,74 €	56,88 €
FUENTE ALIMENTACIÓN 6V 2A	3	4,50 €	13,50 €
FUENTE ALIMENTACIÓN 9V 2A	1	9,99 €	9,99 €
ARDUINO MEGA 2560	1	33,04 €	33,04 €

Total General

227,12 €



## 7. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

En este trabajo se ha llevado a cabo el proceso de diseño de un robot paralelo tipo delta. Este es un tipo de robot muy utilizado en la industria gracias a su elevada velocidad, que es necesaria en múltiples aplicaciones de la industria de hoy en día. Supuso muchas horas de realización y de búsqueda de información relacionada con mi proyecto que pudiera servir de base, siendo complicada y confusa la información que se ha podido obtener, debido a que no hay una buena explicación del tema, con lo que una gran parte del tiempo fue la búsqueda de información que realmente fuera útil.

Una vez obtenida esta información se empieza el desarrollo desde cero de la estructura y del cableado teniendo las complicaciones inherentes al diseño propiamente dicho, donde la parte más complicada es la creación de una base de donde podamos partir y seguir una lógica. Todo este desarrollo se ha realizado mediante un software CAD para la creación de la estructura, con lo que podemos ver el resultado de nuestro diseño antes de crearlo, lo que ayuda a prevenir muchos fallos y a tener una imagen clara de lo que estamos realizando.

Por falta de tiempo se sugieren unos futuros desarrollos que puedan realizarse:

- Control de posicionamiento de una forma más fluida, es decir, que los servomotores se sincronicen para alcanzar la posición y que lo hagan mediante pasos que no supongan velocidades demasiado bruscas.
- Creación de un mando con el que podamos controlar el robot de forma manual de forma que se haga intuitivo.
- Desarrollo de una herramienta de trabajo para acoplarla a la base y poder trabajar con ella.
- Creación de un modelo más robusto de la estructura.
- Optimización de la programación y del entorno HMI.



# Bibliografía

- Barrientos Cruz, A. (2007). Fundamentos de robótica.
- Introducción a la Robótica, José María Angulo Usategui, Paraninfo, 2005
- Web proyecto arduino: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)
- Floyd. Thomas L. Dispositivos Electrónicos, Octava edición, Pearson-Prentice Hall. México 2008, ISBN978-970-26-1193-6
- Ataurima Arellano, M. (2015). Matlab & Simulink para ingeniería.
- Rueda Florez, J. (2008). Metodología para el diseño de un robot paralelo industrial tipo delta
- Web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>