



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño**

---

# **Diseño y desarrollo de un robot delta de seis ejes de bajo coste**

Trabajo final de grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Autor: Carlos Moreno Sanz

Tutor: Leopoldo Armesto Ángel

Curso académico 2019-2020



# Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a mi familia por haberme apoyado durante todos mis estudios ya que sin su apoyo no hubiese sido posible culminar dichos estudios con tanta satisfacción.

Agradecer al profesor Leopoldo Armesto Ángel, perteneciente al departamento de ingeniería de Sistemas y Automática por apoyarme desde el primer momento en el que le fue propuesto el trabajo a realizar y por conducirme por este camino para conseguir concluir de forma correcta dicho estudio.

A los compañeros que me han acompañado durante los cuatro años del grado por ayudarme a crecer como persona y como profesional. Del mismo modo que les agradezco los numerosos consejos y discusiones sobre los automatismos que me han ayudado a aumentar mi entusiasmo por los diferentes tipos de robots existentes.

Finalmente agradezco a mis amigos por su apoyo durante la carrera, por todos los momentos de estudio y por ayudarme a evadirme y desconectar en los momentos necesarios.

# Resumen

Este proyecto se centra en la realización de un robot delta de seis grados de libertad a escala reducida que pueda ser fabricado, asimismo debe ser capaz de seguir una trayectoria entre dos puntos con orientaciones diferentes. Por lo que el robot deberá poder posicionarse y orientarse de forma independiente.

Para ello se realiza un estudio del funcionamiento del robot delta de tres grados de libertad, para poder conocer el área de trabajo del efector final y poder dimensionar de forma correcta su diseño. Una vez realizado dicho análisis, se ha desarrollado el diseño del robot mediante el *software* Solidworks, para ello se divide en dos partes el diseño. En primer lugar, se realiza un robot de tres grados de libertad capaz de posicionar la base inferior en el área de trabajo ya analizada. Y posteriormente se le añade un mecanismo para poder orientar una muñeca unida a dicha base inferior de forma independiente.

Una vez finalizado el diseño del robot se ha procedido a la implementación del sistema robotizado en el entorno de simulación V-REP. En dicho entorno se ensambla y programa el robot pudiendo así observar su capacidad de movimiento y su funcionamiento en un entorno controlado.

Se concluye el trabajo con la realización de dos pruebas de funcionamiento en el entorno de V-REP donde se demuestran las habilidades del robot. Se realiza una primera prueba de trayectoria, con diferentes posiciones y orientaciones. Y una segunda prueba de la tarea *pick and place* de un objeto entre dos puntos con orientaciones diferentes.

# Abstract

The aim goal of this project is to do a six-edge delta robot on a reduced scale that we could be make, also it should be able to follow a trajectory between two points with different orientations. Because of that, the robot should be change independently their position and orientation.

For do that, study about three-edge delta robot working is developed, thanks to that we can know working area of the end effector and we can design it correctly. Following this study, the design of the robot with the software Solidworks is do it, for that design we divide the robot in two parts. Firstly, we do the design of a robot with three edge of liberty capable to move their mobile base inside of the designing working area. And to finish the design, we add to the robot a mechanism capable of orienting the wrist independently.

After the robot design, the implementation of a robotics system is proceeded on V-REP simulation environment. Here the robot is assembly and programmed, being able to observe its capacity of movement and working in a controlled environment.

The work is concluded with the performance of two operational tests in V-REP environment where robot's possibilities are proved. The first test is a trajectory with different points and orientations and the second test to end is do the task pick and place, moving an object between two points with different orientations.

# Resum

Aquest projecte se centra en la realització d'un robot delta de sis graus de llibertat a escala reduïda que puga ser construït, de la mateixa forma deu ser capaç de seguir una trajectòria entre dos punts amb orientacions diferents. Pel qual el robot deurà poder posicionar-se i orientar-se de forma independent.

Per a dur-ho a terme es realitza un estudi del funcionament del robot delta de tres graus de llibertat, en la finalitat de poder conèixer l'àrea de treball de l'efector final i poder dimensionar de forma correcta el seu disseny. Una volta realitzat l'anàlisi, s'ha desenrotllat el disseny del robot mitjançant el programa Solidworks, per a això es divideix en dos el seu disseny. En primer lloc es realitza un robot de tres graus de llibertat capaç de posicionar la seua base inferior en l'àrea de treball analitzada. I posteriorment se li afegeix un mecanisme per a poder orientar la monyica de forma independent.

Una volta finalitzat el disseny del robot s'ha procedit a la implementació del sistema robotitzat en l'entorn de simulació V-REP. En entorn s'acobla i programa el robot podent així observar la seua capacitat de moviment i el seu funcionament en un entorn controlat.

Es conclou el treball amb la realització de dues proves de funcionament en l'entorn de V-REP on es demostren les possibilitats del robot. En primera instància s'ha realitzat una trajectòria amb diferents posicions i orientacions, i per a finalitzar, una segona prova on es du a terme la tasca *pick and place* d'un objecte entre dos punts amb diferents orientacions.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño**

---

Documento número 1:

Memoria técnica

**Diseño y desarrollo de un robot  
delta de seis ejes de bajo coste**

Trabajo final de grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Autor: Carlos Moreno Sanz

Tutor: Leopoldo Armesto Ángel

Curso académico 2019-2020

# Contenido

1	Introducción .....	3
1.1	Objetivos .....	3
1.2	Motivaciones del estudio .....	3
1.3	Justificación del estudio .....	4
1.4	Alcance y límites.....	5
2	Antecedentes .....	5
2.1	Historia robots paralelos.....	7
3	Metodología.....	9
4	Desarrollo del trabajo.....	10
5	Análisis del robot delta.....	11
5.1	Geometría del robot delta .....	11
I.	Área de trabajo.....	11
II.	Funcionamiento de la geometría del robot .....	13
5.2	Cinemática del robot delta.....	14
I.	Cinemática directa de los robots delta .....	14
II.	Cinemática inversa de los robots delta .....	15
6	Diseño.....	16
6.1	Diseño de un robot delta de 3 grados de libertad. ....	16
6.2	Diseño de un robot delta de 6 grados de libertad. ....	18
6.3	Cálculo de los servomotores .....	22
7	Entorno de simulación .....	25
7.2	Ensamblaje del robot delta en V-REP.....	25
7.3	Programación del robot delta en V-REP.....	31
8	Simulación .....	34
8.2	Trayectoria de demostración .....	35
8.3	Función pick and place .....	37
9	Conclusiones.....	39
10	Futuros estudios.....	39
11	Bibliografía .....	40
	Código programación.....	42
	Datasheets.....	46

# Tabla de ilustraciones

Ilustración 1 Robots delta industria alimentaria.....	4
Ilustración 2 Comparativa robots.....	5
Ilustración 3 Robot serial.....	6
Ilustración 4 Robot paralelo.....	6
Ilustración 5 Plataforma movimiento J.E. Gwinnett.....	7
Ilustración 6 Robot delta R. Clavel.....	7
Ilustración 7 Robots paralelo de seis grados de libertad, (a) Active Wrist, (b) Hexaglide, (c) Tri-Scott.....	8
Ilustración 8 Robot M-3iA/6A Fanuc.....	8
Ilustración 9 Metodología.....	9
Ilustración 10 Metodología diseño.....	9
Ilustración 11 Esquema robot delta.....	11
Ilustración 12 Trigonometría brazo delta.....	11
Ilustración 13 Volumen de trabajo robot delta.....	12
Ilustración 14 Vista frontal.....	13
Ilustración 15 Vista lateral.....	13
Ilustración 16 Primer modelo (Bertuğ Güven 2017)      Ilustración 17 Segundo modelo (Ismail H. SANLITURK 2012)	16
Ilustración 18 Diseño 3 grados de libertad.....	17
Ilustración 19 Rótula de inspiración.....	17
Ilustración 20 Robot M-3iA/6A Fanuc.....	18
Ilustración 21 Brazo robot.....	19
Ilustración 22 Muñeca robot delta.....	19
Ilustración 23 Despiece muñeca robot delta.....	20
Ilustración 24 Diseño robot delta con seis grados de libertad.....	21
Ilustración 25 Configuración máximo esfuerzo del robot.....	23
Ilustración 26 Datasheet Hiwonder LX-824 HV.....	23
Ilustración 27 Datasheet AR-3603.....	24
Ilustración 28 Importación de piezas.....	25
Ilustración 29 Jerarquía ensamblaje.....	26
Ilustración 30 Diseño robot primitivo      Ilustración 31 Diseño robot complejo.....	26
Ilustración 32 Jerarquía muñeca      Ilustración 33 Articulaciones muñeca.....	27
Ilustración 34 Jerarquía ensamblaje      Ilustración 35 Articulaciones brazo.....	28
Ilustración 36 Propiedades de los Dummy.....	29
Ilustración 37 Unión cadena cinematica del brazo      Ilustración 38 Representación Dummies brazo	29
Ilustración 39 Representación Dummies brazo y base inferior.....	30
Ilustración 40 Unión cadena cinematica del brazo y base inferior.....	30
Ilustración 41 Representación Dummies cardan y base inferior.....	30
Ilustración 42 Unión cadena cinematica entre el sistema de cardan y base inferior.....	30
Ilustración 43 Propiedades dinámicas figuras primitivas.....	31
Ilustración 44 Propiedades figuras primitivas.....	31
Ilustración 45 Propiedades figuras puras.....	31
Ilustración 46 Propiedades dinámicas figuras puras.....	31
Ilustración 47 Propiedades de los Joint.....	32
Ilustración 48 Propiedades Joint de la muñeca.....	32

Ilustración 49 Formula dependencia de las articulaciones .....	32
Ilustración 50 Propiedades de los Dummy.....	33
Ilustración 51 Propiedades de los elementos de los Dummies.....	33
Ilustración 52 Entorno de trabajoV-REP.....	34
Ilustración 53 Propiedades Dummies herramienta .....	34
Ilustración 54 Path prueba funcionamiento robot delta .....	35
Ilustración 55 Código trayectoria de demostración.....	36
Ilustración 56 Paths Pick and Place .....	37
Ilustración 57 Definición de elementos .....	37
Ilustración 58 Código Pick and Place.....	38

# 1 Introducción

## 1.1 Objetivos

El objetivo principal del presente proyecto es el diseño de un robot delta capaz de orientar y posicionar el efector final del robot. Para validar el correcto funcionamiento del robot diseñado, se ha realizado y documentado las pruebas de la simulación de la tarea *pick and place*, con diferentes orientaciones del elemento transportado. Junto con una trayectoria con diferentes orientaciones, todo ello simulado en el entorno de simulación V-REP.

Para completar este objetivo se ha realizado, el estudio de la cinemática del robot delta para poder conocer sus limitaciones de movimiento y las principales características a tener en cuenta al diseñar nuestro propio robot.

El diseño de las piezas que forman el robot mediante el *software* Solidworks, especializado en el diseño de piezas industriales y del cual podemos extraer las piezas para su impresión o para su uso en diversos programas de simulación.

El ensamblaje del robot en un entorno de simulación, el cual hemos escogido V-REP, donde se crearán las diferentes cadenas cinemáticas del robot consiguiendo replicar su estructura y funcionamiento.

Por último, se han realizado la programación del robot en dicho entorno de simulación, de esta forma se podrán demostrar las posibilidades de funcionamiento del robot mediante distintas trayectorias y orientaciones. Asimismo, el robot deberá adaptarse a un entorno controlado, siendo capaz de transportar un objeto entre dos puntos con diferentes orientaciones.

## 1.2 Motivaciones del estudio

A lo largo del grado el interés por los diferentes sistemas robotizados ha ido en aumento. Por este motivo se ha decidido enfocar este estudio de uno de ellos, el robot delta. Se ha escogido incidir en este robot, debido a que en los últimos años está siendo de gran importancia, además de su compatibilidad e implementación en la industria 4.0, área que también resulta de gran interés.

Además, también se ha contado con la motivación de poder profundizar en el aprendizaje diferentes herramientas estudiadas en la carrera. Como es el caso del entorno de simulación V-REP o el software de diseño Solidworks. Los cuales durante las asignaturas de automatización se han estudiado y con este trabajo hemos podido aprender a utilizarlas de forma más optimizada y combinarlas para complementarlas entre sí.

Por otro lado, se ha hecho uso de estas herramientas para visualizar la simulación final ya que con ellas la simulación es mucho más cercana a la realidad. A diferencia de otras herramientas como podría ser Matlab, donde deberíamos haber utilizado esquemas simplificados lejanos de la apariencia del robot real. Por todo ello hemos decidido utilizar Matlab para la realización de los cálculos y V-REP junto los diseños de Solidworks para la representación final.

### 1.3 Justificación del estudio

En la industria encontramos una gran tendencia al uso de brazos robóticos seriales, sin embargo, para ciertas tareas son más eficientes los robots del tipo delta debido a su precisión y altas velocidades de trabajo. Pese a ello, dichos robots están levemente menos desarrollados debido a su juventud, de forma que no están tan optimizados, en especial los robots delta capaces de reorientar las piezas a la vez que las trasladan.

Hoy en día nos resulta difícil encontrar marcas que fabriquen robots delta con seis grados de libertad. Estos robots son especialmente útiles en el sector de la alimentación como observamos en la ilustración 1, este sector está actualmente en auge y posiblemente sea uno de los mayores promotores de la industrialización en los próximos años.



*Ilustración 1 Robots delta industria alimentaria*

El funcionamiento de estos robots también resulta realmente útil para la realización de empaquetados de forma mucho más rápida y eficiente. Además de poder posicionar los productos con cierta orientación en la posición final, acción que con los robots delta de cuatro grados de libertad no podemos conseguir.

Finalmente, se ha planteado la creación de un gemelo digital en el entorno de V-REP debido a que en los últimos años ha aumentado la popularidad de dichos entornos de trabajo donde poder crear nuestros propios sistemas robotizados y probarlos con diferentes configuraciones del entorno. De esta forma se plantea la posibilidad junto al tutor de proporcionar mediante diferentes plataformas, la información de cómo crear las cadenas cinemáticas cerradas y un robot paralelo en V-REP.

## 1.4 Alcance y límites

El alcance principal del trabajo es conseguir un robot paralelo delta con seis grados de libertad funcional y posible de construir, que sea capaz de mover pequeños objetos y orientarlos. Para ello se tiene en cuenta que el diseño del robot es un diseño preliminar, que posiblemente a la hora de replicarlo de forma física sea necesario realizarle pequeñas modificaciones.

Por otra parte, en cuanto a la programación, nos vemos limitados por el programa V-REP. Por lo que deberemos tener en cuenta la capacidad de cómputo y de visualización del programa. En la realidad con una tarjeta de procesamiento optimizada, el robot podría llegar a funcionar a mayores velocidades de las que podemos conseguir en el entorno de simulación.

Por último, también debemos tener en cuenta que es un robot de escala reducida de forma que su área de trabajo y peso de carga serán reducidos.

## 2 Antecedentes

En los últimos años se ha incrementado el estudio de los robots industriales. Dentro de este grupo encontramos dos subgrupos claramente diferenciados como observamos en la ilustración 2. Por un lado encontramos los robots seriales y por otro los robots paralelos.

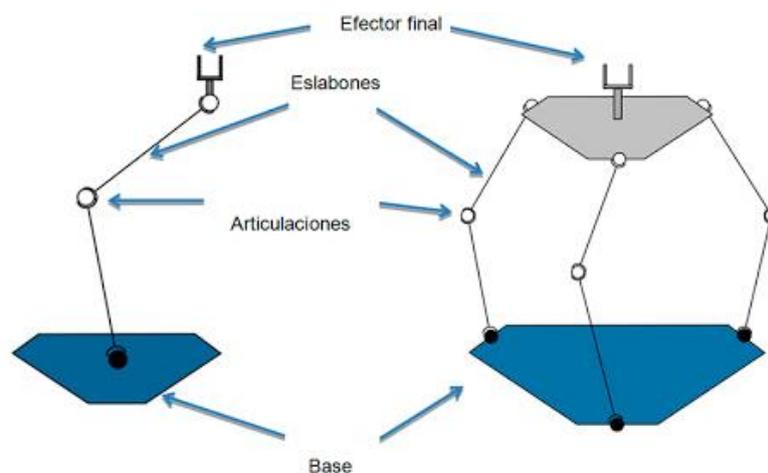


Ilustración 2 Comparativa robots

En la segunda ilustración observamos que hay ciertas similitudes entre ambos diseños. Apreciamos que ambos están formados por los mismos elementos, empezando por una base fija y terminando con un efector final. Sin embargo, hay una clara diferencia entre ambos diseños, en el primer caso el efector final solo depende de una cadena cinemática, de forma que esta se considera abierta. En cambio, en el segundo caso la base móvil depende de tres brazos y con ello de tres cadenas cinemáticas diferentes unidas en un mismo punto. A causa de que estas cadenas se unan en un mismo punto dejan de considerarse abiertas y pasan a ser cerradas.

Es por ello por lo que la mayor diferencia que encontramos entre ambas estructuras es que una de ellas utiliza cadenas cinemáticas abiertas y la otra cerrada. Lo cual repercutirá al funcionamiento del robot y con ello en sus aplicaciones.

De esta forma los robots con cadenas cinemáticas abiertas, como son los robots seriales. Son ampliamente los más utilizados debido a su gran espacio de trabajo, su gran capacidad de carga. Sin embargo, no son robots especialmente rápidos y además sus estructuras suelen ser de gran tamaño.

Usualmente en la industria se utilizan robots seriales de seis articulaciones, de esta forma conseguimos poder llegar a cualquier punto del espacio de trabajo con diferentes configuraciones del robot. En adición, para simplificar el cálculo de la cinemática se suele dividir en dos, de forma que las tres primeras articulaciones se encargan del posicionamiento y las tres restantes se encargan de la orientación de la herramienta.

Por último, uno de los problemas del robot serial es la aparición de configuraciones a las cuales el robot no puede llegar dentro del espacio de trabajo.



*Ilustración 3 Robot serial*



*Ilustración 4 Robot paralelo*

Por otro lado, encontramos los robots con cadenas cinemáticas cerradas, habitualmente llamados robots paralelos, los cuales están formados por diferentes cadenas cinemáticas que son restringidas en un punto, uniéndose entre sí. Este tipo de configuración presenta diversas ventajas respecto al anterior, como son una mayor rigidez con respecto a la relación entre el peso que son capaces de transportar y las dimensiones del robot, la precisión del efector final y la velocidad de movimiento. Sin embargo, dicha cinemática presenta ciertas desventajas respecto la serial, ya que el espacio de trabajo en dichos robots se ve altamente reducido, además de que el cálculo de la cinemática del robot es de mayor complejidad.

Hoy en día en la industria dentro de los robots paralelos, observamos principalmente robots paralelos del tipo delta, estos los podemos encontrar desde tres hasta seis grados de libertad. Todos ellos comparten una misma cinemática para el posicionamiento de la base inferior, mediante la utilización de tres cadenas cinemáticas que se unen en dicha base inferior. Posteriormente se utilizan cadenas cinemáticas adicionales para la orientación de la herramienta. En función de las necesidades, se adecuan dichos grados de orientación, siendo lo más usual un único grado de orientación.

## 2.1 Historia robots paralelos

El primer robot paralelo del que se tiene constancia, data del 1931 y fue patentado por J.E. Gwinnett. Dicho robot estaba basado en una plataforma situada debajo del patio de butacas de un teatro. Su utilidad era dar movimiento al patio de butacas, otorgándole mayor realismo al espectáculo. Sin embargo, no hay constancia de que se llegase a construir. (Gwinnett 1931)

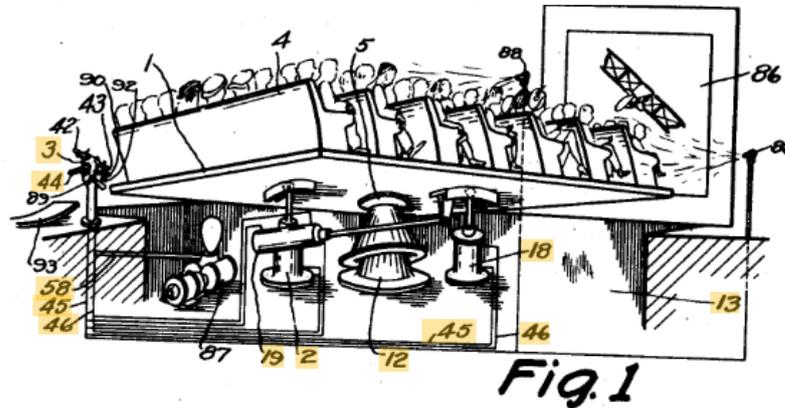


Ilustración 5 Plataforma movimiento J.E. Gwinnett

Posteriormente los robots paralelos fueron evolucionando, creando plataformas más elaboradas y precisas. Dichas plataformas se siguen utilizando hoy en día entre otras aplicaciones, para simulaciones de vuelo y para rehabilitación de ciertas lesiones.

En 1988 Reymond Clavel creó el primer robot delta, este fue el primer robot paralelo diseñado en forma simétrica, contaba con tres cadenas cinemáticas iguales que terminaban en un efector final. Podemos apreciar en la ilustración 6, que dicho robot tiene la forma del robot delta actual con tres grados de libertad (Staicu y Carp-Ciocardia 2003)

Se aprecia que la historia de los robots delta tiene escasos treinta años, siendo en los últimos años cuando se ha tratado de indagar más en su estudio y optimización, para conseguir mejores resultados de precisión, rapidez, espacio de trabajo y carga máxima. Sin embargo, podemos apreciar dicha diferencia de análisis en los robots seriales, que datan del 1948, por lo que están ampliamente estudiados y optimizados.

Es por ello por lo que desde la creación del robot delta, se han seguido realizando estudios relacionados con dicho robot, siendo la mayor diferencia respecto al original la adición de mayor número de grados de libertad. Siendo lo más habitual cuatro grados de libertad.

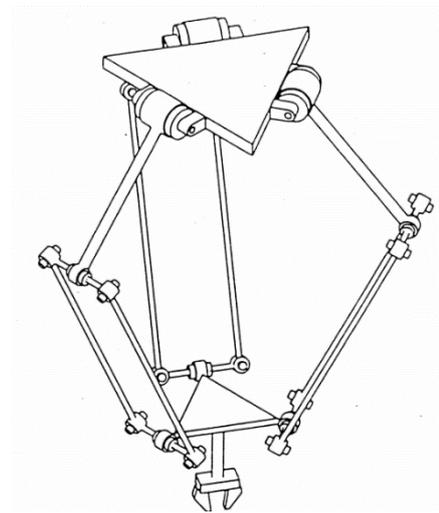


Ilustración 6 Robot delta R. Clavel

Sin embargo, también se ha planteado el estudio de robots paralelos de seis grados de libertad, proponiéndose en un principio los siguientes tres modelos. El Active Wrist presentado por J.P. Merlet y C. Gosselin (Merlet y Gosselin 1991), Fig. 3(a). El Hexaglide presentado por M. Honegger y otros (Honegger, Codourey y Burdet 1987), Fig. 3(b). Y el Tri-Scott presentado por I. Zabalza y otros (Zabalza et al. 2002), Fig. 3(c).

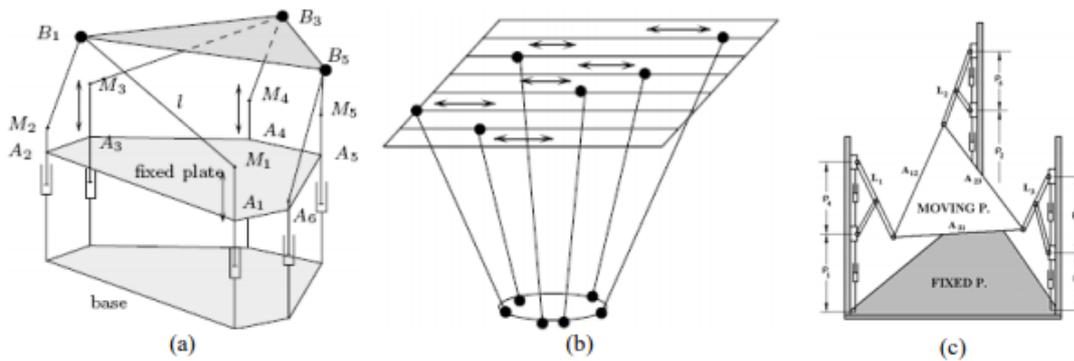


Ilustración 7 Robots paralelo de seis grados de libertad, (a) Active Wrist, (b) Hexaglide, (c) Tri-Scott.

Observamos que los dos primeros modelos son muy cercanos temporalmente al robot delta de R. Calvel. Sin embargo, no han tenido tanta importancia en el mundo de la industria como es el caso del robot delta. En el caso del modelo c, sí que se ha implementado en algunos casos industriales como impresoras 3D, pese a ello, tampoco es la opción más extendida.

Por otro lado, el robot paralelo de seis ejes más utilizado es el de M-3iA/6A de la empresa Fanuc. Podemos observar en la ilustración 8 que tiene la estructura de un robot delta que analizábamos en el robot de R. Clavel junto con una muñeca de tres ejes.

Gracias a este diseño, es un robot perfecto para tareas de *pick and place* de alta velocidad y precisión que requieran modificar la orientación del elemento transportado. En sus especificaciones observamos que es capaz de transportar objetos de hasta seis kilogramos. (Fanuc 2010)



Ilustración 8 Robot M-3iA/6A Fanuc

Debido a los objetivos requeridos, observamos que es un robot que cumple con las especificaciones demandadas. Por lo que nos basaremos en dicho modelo para la creación de nuestro modelo. Tratando de adaptarlo a nuestras necesidades, al uso de servomotores y pesos reducidos. Consiguiendo así minimizar los costes de producción.

### 3 Metodología

La metodología que se va a utilizar para la elaboración del proyecto es la que observamos en la ilustración 9. Primero se realizará un análisis de los robots delta, para ello nos basaremos en estudios anteriores añadiendo las características de nuestro modelo. Seguidamente realizaremos un diseño preliminar que pudiese cumplir con los objetivos planteados, posteriormente ensamblaremos nuestro robot y concluiremos con el testado del funcionamiento del robot, observando los fallos surgidos y volviendo a la etapa de diseño del robot para solucionarlos.

De esta forma, finalizaremos el proyecto cuando consigamos un diseño que cumpla con los objetivos sin mostrar errores de funcionamiento.

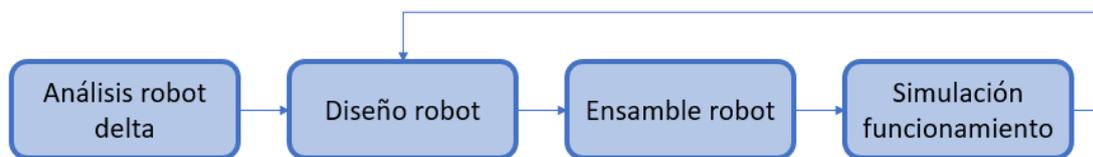


Ilustración 9 Metodología

Por otro lado, encontramos la metodología utilizada para el diseño de nuestro robot. Debido a la complejidad del sistema lo dividiremos como se observa en la ilustración 10, pudiendo de esta forma detectar posibles fallos de forma más sencilla y segmentarlos en los diferentes apartados. Además, esta es la estructura que se utilizara para la representación de los planos.

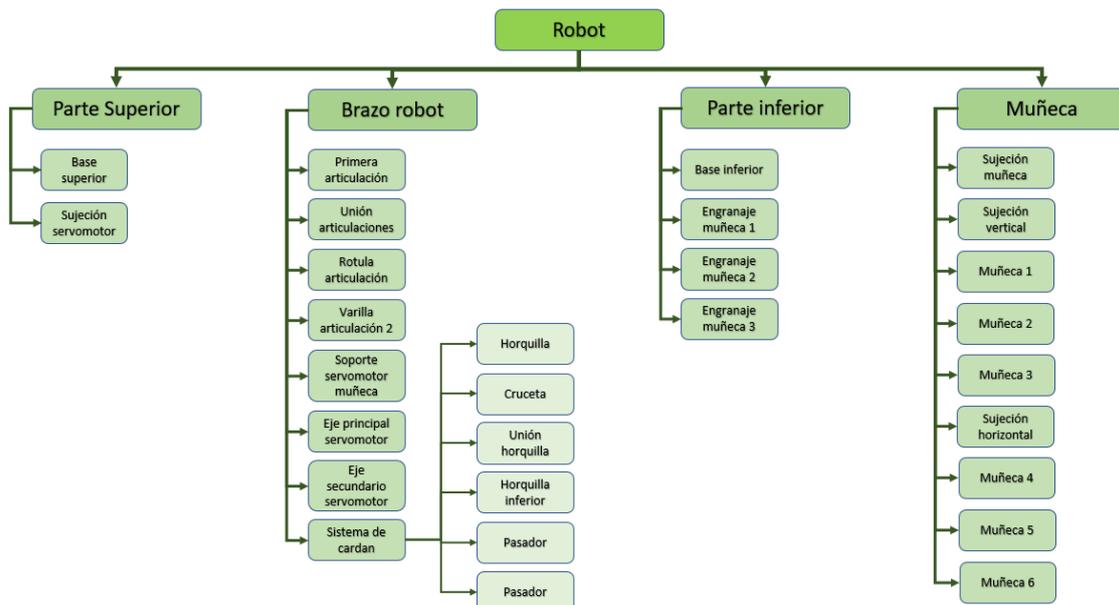


Ilustración 10 Metodología diseño

## 4 Desarrollo del trabajo

Para la realización del proyecto en primer lugar, se ha buscado información sobre los robots paralelos, poniendo especial hincapié en los robots delta. Se ha estudiado su cinemática, su estructura y sus límites de funcionamiento. Para ello hemos reunido información de estudios anteriores realizados en trabajos de final de grado y en revistas científicas, junto con los conocimientos adquiridos durante el grado. Posteriormente se ha investigado el modelo M-3iA/6A de la empresa Fanuc, el cual como hemos explicado anteriormente es el más próximo al que se ha diseñado y podría cumplir los objetivos demandados. Debido a ser un modelo relativamente reciente su información es escasa, y no se cuenta con planos ni despiece del robot. Por lo que nos hemos tenido que basar en su funcionamiento para realizar un sistema que se aproximase al funcionamiento del M-3iA/6A.

Posteriormente, hemos diseñado nuestro robot, para ello nos hemos basado en el robot comentado anteriormente y diferentes modelos de «grabcad» donde diversos usuarios habían subido diferentes robots del tipo delta. De esta forma gracias al software Solidworks hemos conseguido replicar ciertas piezas de dichos modelos o diseñar nuevas piezas para conseguir un sistema robotizado que cumpliera los objetivos.

Una vez diseñado el robot procedimos al dimensionado de los servomotores, para ello los calculamos en los casos peores. Por un lado, estudiamos que el caso peor de los servomotores de posición surge cuando todo el peso de robot lo debe soportar un único servomotor. Y en el caso de los servomotores de la muñeca, el caso peor viene establecido por la relación entre engranajes, siendo este la fuerza necesaria para hacer funcionar servomotor de la tercera parte de la muñeca.

Una vez terminado todo el diseño, se ha trasladado el sistema robotizado a V-REP, el cual es un entorno de simulación controlado en el que podemos ensamblar el robot y realizar ciertas pruebas. Para ello en primer lugar, debemos ensamblar las diferentes piezas diseñadas anteriormente, junto con diferentes elementos de simulación como son las articulaciones del robot. De esta forma obtendremos la estructura de nuestro robot y podremos proceder al último paso, su programación.

En la programación encontramos diversos elementos, por un lado, encontramos los diferentes elementos del robot y las diferentes cadenas cinemáticas que lo forman. Lo cual nos ayudará a que este siga diferentes trayectorias de forma autónoma. Y por otro lado encontramos la programación de las pruebas a superar, para garantizar que el robot cumple con las necesidades solicitadas. Para ello en primer lugar diseñaremos una trayectoria con diferentes orientaciones del efector final y posteriormente configuraremos la tarea *pick and place*, consiguiendo que el robot traslade un objeto entre dos puntos y varíe la orientación del objeto.

## 5 Análisis del robot delta.

En este apartado se ha estudiado la estructura del robot delta de tres grados de libertad, analizando el área de trabajo y la cinemática. La cinemática la hemos dividido en los dos tipos más comúnmente usados en los robots, la cinemática directa y la cinemática indirecta.

### 5.1 Geometría del robot delta

#### I. Área de trabajo

En primer lugar, hemos estudiado el área de trabajo, que es definida por la geometría de los tres primeros grados de libertad del robot delta los cuales son los encargados del posicionamiento de la base inferior. (Alejandro Liza Borja 2016)

En la ilustración 11 observamos que nuestro robot delta está formado por una base superior triangular equilátera fija de lado «F» igual a 320.5 mm. Seguidamente, tres brazos iguales formados por dos eslabones, el primero «La» de un tamaño de 120 mm y el segundo de una longitud «Lb» de 270 mm que terminan en un efector final triangular equilátero cuyo lado «e» tiene las dimensiones de 180 mm.

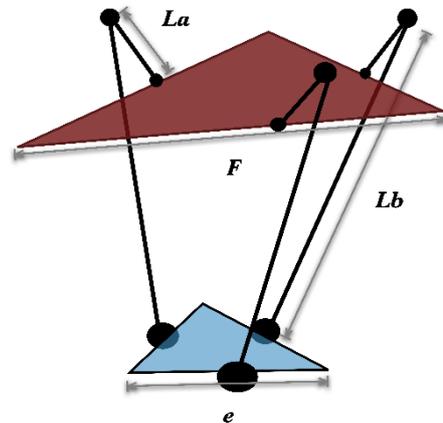


Ilustración 11 Esquema robot delta

Con estos datos calculamos el radio de la base superior:

$$R = \frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{1}{3} * F; R = 92.5 \text{ mm} \quad (1)$$

De la misma forma el radio de la base inferior quedará como:

$$r = \frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{1}{3} * e; r = 52 \text{ mm}. \quad (2)$$

Una vez obtenidos los valores del diseño, se ha calculado las alturas de trabajo del robot máximas y mínimas cuando la base superior y el efector final están alineados. Primeramente calculamos la mínima «L» con la siguiente fórmula trigonométrica que se produce cuando «La» y «Lb» son coincidentes, siendo  $\beta = 0^\circ$ :

$$L = \sqrt{Lb^2 + La^2 - 2LaLb} \quad (3)$$

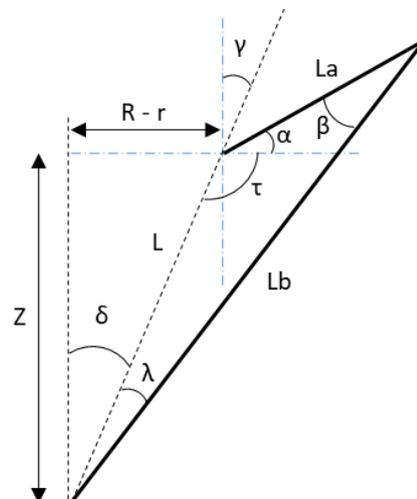


Ilustración 12 Trigonometría brazo delta

De la misma forma se la máxima « $\beta$ » posible es  $180^\circ$ , de forma que  $(\gamma + \alpha) = 90^\circ$  además  $\gamma = \sin^{-1}\left(\frac{R-r}{Lb+La}\right)$

Con esto obtenemos :

$$Z_{\min}(\beta = 0^\circ) = (Lb + La) * \cos(\gamma) = (270 - 120) * \cos\left(\sin^{-1}\left(\frac{92.5-52}{(270-120)}\right)\right) \quad (4)$$

$$Z_{\min}(\beta = 0^\circ) = 144.43 \text{ mm}$$

$$Z_{\max}(\beta = 180^\circ) = (Lb + La) * \cos(\gamma) = (270 + 120) * \cos\left(\sin^{-1}\left(\frac{92.5-52}{(270+120)}\right)\right) \quad (5)$$

$$Z_{\max}(\beta = 180^\circ) = 387.89 \text{ mm}$$

Por último, hemos utilizado dos archivos de Matlab creados por dos usuarios anteriores, para representar de forma esquemática nuestro robot (Sebastian 2016) y mostrar el area de trabajo completo(Yuliya Smirnova 2019).

De este modo conseguimos el esquema mostrado en la ilustración 13, donde se pueden observar todas posibilidades de posicionado del robot. Además de poder observar de esta forma los angulos máximos y mínimos de los servomotores.

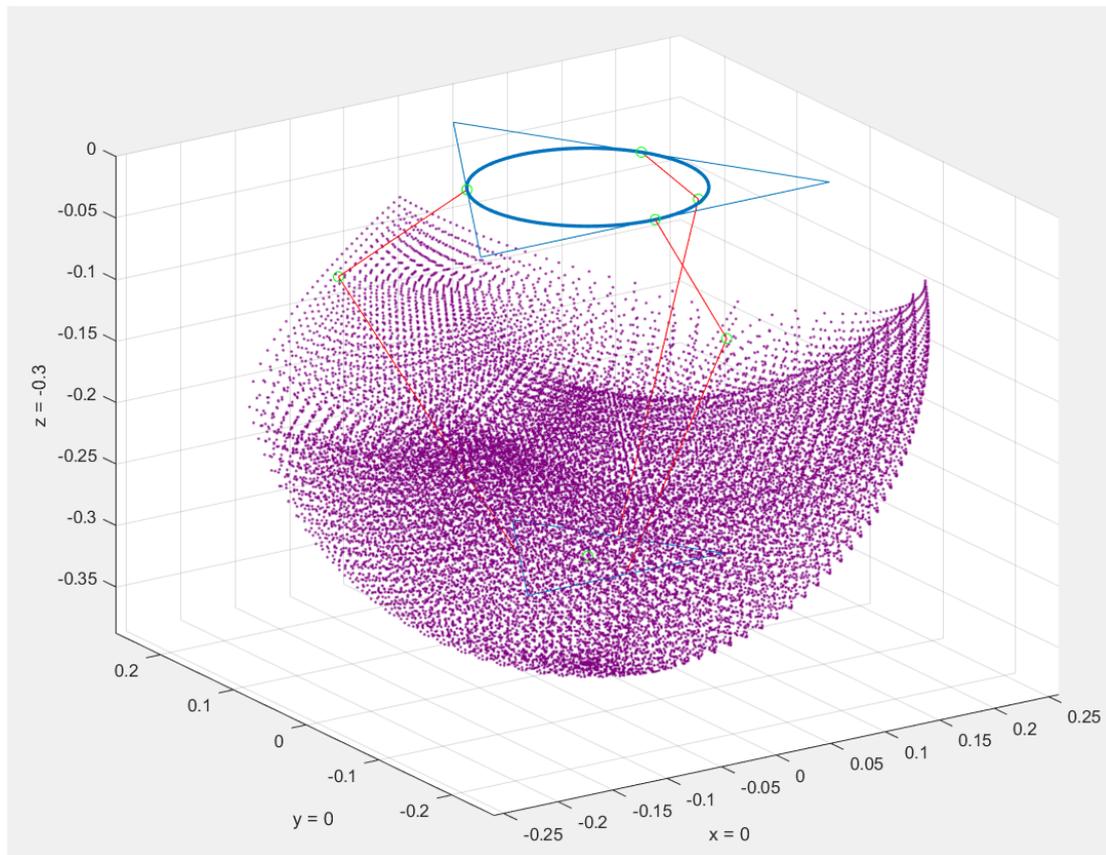


Ilustración 13 Volumen de trabajo robot delta

## II. Funcionamiento de la geometría del robot

Por otra parte, se ha buscado información del funcionamiento de la geometría del robot delta, la cual será necesaria posteriormente para la realización de los cálculos de la cinemática. (Gudiño-Lau et al. 2018)

Primeramente, se representan 2 imágenes en las que se definen los parámetros de la geometría de uno de los brazos del robot delta, como son los ángulos y longitudes.

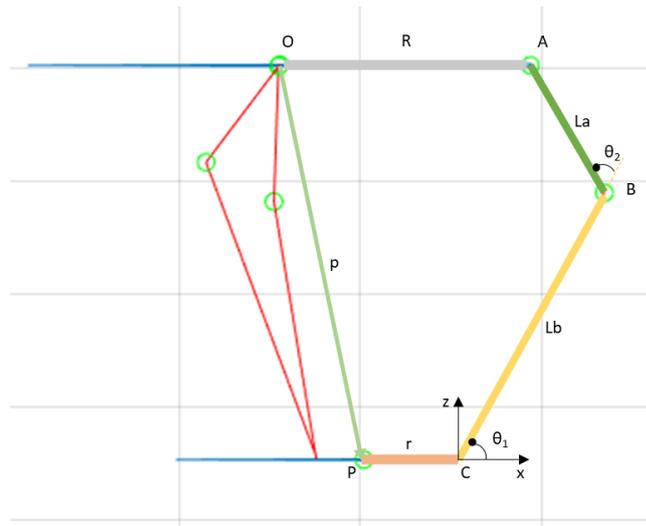


Ilustración 14 Vista frontal

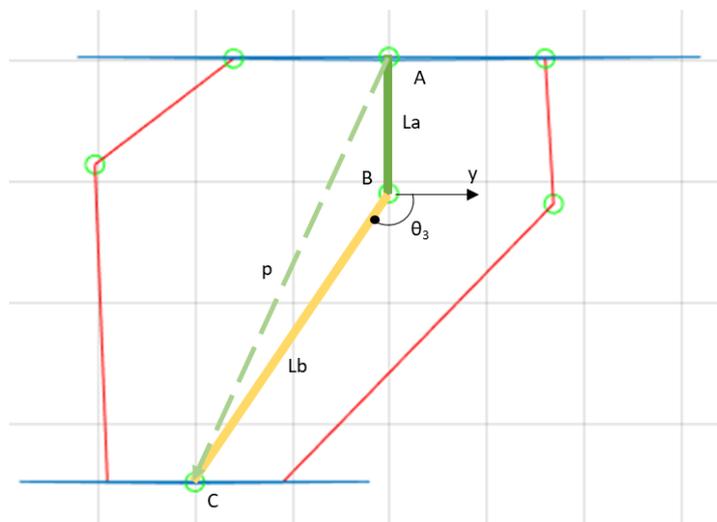


Ilustración 15 Vista lateral

Con estos valores podemos llegar a una relación matricial entre el punto O y el punto P que relacione la posición de la base fija con la base móvil, como se muestra en el artículo científico «Diseño y modelado cinemático de un robot delta para el diagnóstico y rehabilitación» (Gudiño-Lau et al. 2018) donde se obtienen las siguientes relaciones:

$$\overline{OA} = \begin{bmatrix} R \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \overline{AB} = \begin{bmatrix} LaC\theta_1 \\ 0 \\ LaS\theta_1 \end{bmatrix}; \quad \overline{BC} = \begin{bmatrix} LbC(\theta_1+\theta_2)S\theta_3 \\ LbC\theta_3 \\ LbS(\theta_1+\theta_2)S\theta_3 \end{bmatrix}; \quad \overline{PC} = \begin{bmatrix} r \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\overline{OP} = \begin{bmatrix} P_x C\theta_i + P_y S\theta_i \\ -P_x S\theta_i + P_y C\theta_i \\ P_z \end{bmatrix} \quad (7)$$

## 5.2 Cinemática del robot delta

El estudio cinemático del robot, es el encargado de analizar los componentes del movimiento del robot como son la posición, velocidad y aceleración de cada elemento que forma el robot. Para dichos cálculos no se tienen en cuenta las fuerzas que surgen a causa de la gravedad y de la interacción entre los diferentes elementos. El cálculo de las repercusiones de dichas fuerzas se estudia en la dinámica de robot.

Por todo ello en el análisis de la cinemática de los robots únicamente se tiene en cuenta las propiedades geométricas del robot. Sin embargo, el estudio de dicha cinemática se puede realizar desde dos perspectivas. En primer lugar, se puede calcular la posición del efector final del robot para una configuración establecida, a lo cual llamamos cinemática directa. Por otro lado, encontramos la cinemática inversa, en la cual se obtiene una configuración del robot para una posición exacta del efector final.

### I. Cinemática directa de los robots delta

La cinemática directa se puede abordar desde tres metodologías la transformación de matrices, geoméricamente y mediante la transformación de coordenadas. Teniendo en cuenta el estudio de la geometría realizado con anterioridad, lo más sencillo es el estudio mediante transformación de matrices debido a que dichas matrices ya las hemos extraído en la ecuación (6). De esta forma utilizando dichas matrices llegamos al siguiente resultado:

$$\overline{OP} = \overline{OA} + \overline{AB} + \overline{BC} - \overline{PC} = \begin{bmatrix} R \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} LaC\theta_{i1} \\ 0 \\ LaS\theta_{i1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} LbC(\theta_{i1}+\theta_{i2})S\theta_{i3} \\ LbC\theta_{i3} \\ LbS(\theta_{i1}+\theta_{i2})S\theta_{i3} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Desde otro lado, observamos que para completar las matrices de la ecuación (8) es necesario conocer la configuración completa de al menos uno de los brazos del robot, lo cual no siempre se puede calcular de forma sencilla y podría complicar el cálculo de la cinemática directa del robot.

## II. Cinemática inversa de los robots delta

El objetivo de la cinemática inversa es determinar los valores de los servomotores para lograr que las diferentes cadenas cinemáticas tomen una configuración determinada con el objetivo de que el efector final llegue a la posición demanda. Para ello se trata de extraer el valor de  $\theta_{11}$ ,  $\theta_{21}$  y  $\theta_{31}$ .

Como se demuestra en el artículo científico «Diseño y modelado cinemático de un robot delta para el diagnóstico y rehabilitación» (Gudiño-Lau et al. 2018) mediante calculos trigonometricos y de matrices llegamos a las siguientes ecuaciones que caracterizan los angulos principales de la cinemática inversa del robot delta:

$$\theta_{31} = \cos^{-1} \left( \frac{P_y}{Lb} \right) \quad (9)$$

$$\theta_{21} = \cos^{-1} \left( \frac{C_x^2 + C_y^2 + C_z^2 - La^2 - Lb^2}{2LaLb \sin \theta_{31}} \right) \quad (10)$$

$$\theta_{11} = 2 \tan^{-1} \left( \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \right); \quad (11)$$

$$a = La + LbS\theta_{31}C\theta_{21} + LbS\theta_{31}S\theta_{21} + LbC\theta_{31} + C_x + C_y + C_z; \quad (12)$$

$$b = 2(La - LbS\theta_{31}S\theta_{21} + LbS\theta_{31}C\theta_{21}) \quad (13)$$

$$c = C_x + C_y + C_z \quad (14)$$

Podemos probar que a causa de que las tres cadenas cinemáticas estén unidas entre ellas mediante el efector final, los ángulos de los servomotores estarán relacionados entre ellos. Esto es debido a que en los robots paralelos las cadenas cinemáticas son cerradas en un mismo punto, creando dependencia entre las cadenas. Esto complica el cálculo de la cinemática inversa como observamos en las fórmulas obtenidas con anterioridad.

Este es uno de los mayores problemas del robot delta respecto a los robots seriales, ya que se necesita una mayor capacidad de cómputo para lograr la cinemática inversa y mover el efector final hasta la posición demandada. Por otro lado debido a dicha geometría la exactitud del efector final es mucho superior, aspecto muy importante en gran cantidad de situaciones industriales.

## 6 Diseño

### 6.1 Diseño de un robot delta de 3 grados de libertad.

Una vez analizadas las características del robot delta, se ha propuesto un diseño preliminar para cumplir con las necesidades propuestas. Para ello se utiliza el *software* de diseño Solidworks, con el cual se han podido crear las diferentes piezas del robot, unirlos creando un ensamblaje y exportarlas para ser utilizadas en otros programas.

Para comenzar, se buscaron diferentes modelos de robot delta ya creados por usuarios anteriores con la herramienta de CAD, Solidworks, los cuales utilizaríamos como base e inspiración para crear nuestro robot delta siendo inicialmente de tres grados de libertad.



Ilustración 16 Primer modelo (Bertuğ Güven 2017)

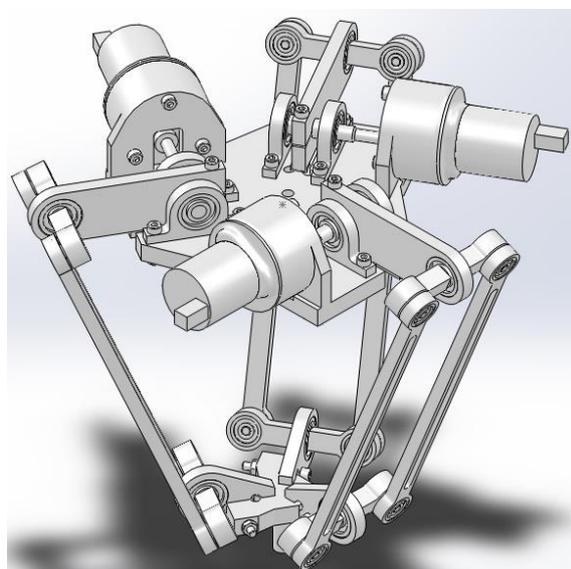


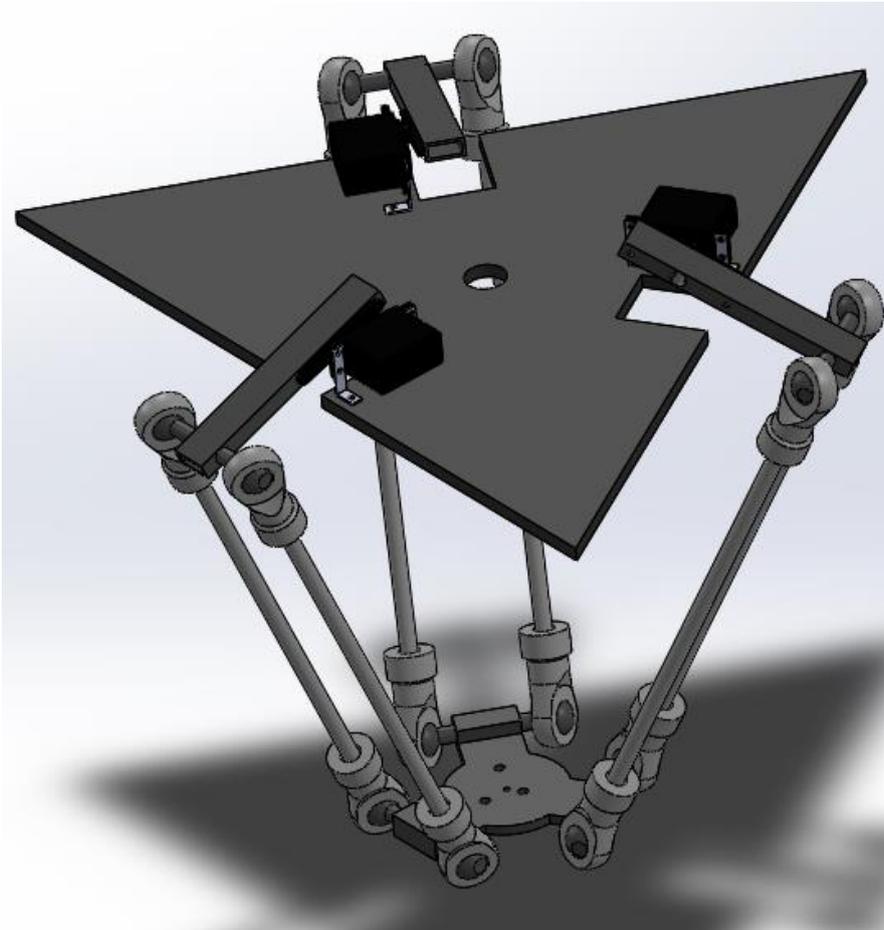
Ilustración 17 Segundo modelo (Ismail H. SANLITURK 2012)

Una vez analizados ambos diseños decidimos utilizar la base superior del primer modelo y su primera articulación debido a que nuestra intención es utilizar servomotores. Y como se observa en la ilustración 16, ya los teníamos integrados en la base lo cual podríamos reutilizar. Además, en el segundo robot hubiera sido más difícil integrar una muñeca, que nos otorgase la orientación de la herramienta final del robot, debido al diseño de la base inferior.

Por otra parte, se decidió no seleccionar ningún tipo de anclaje como en el segundo modelo, de forma que a la hora de su fabricación sea el cliente el que pueda elegir si unirlo al techo o utilizarlo con un armazón como es el caso del primer diseño. Tampoco se ha decidido limitar el diseño a una placa de control específica como es el caso del primer modelo, sino que se decidió dejar abierta la opción de utilizar diferentes placas de control.

De forma que solo especificaríamos el modelo de servomotor el cual sería viable para dicho diseño preliminar y que posteriormente calcularemos. Pese a ello también podría ser remplazado por otro tipo de motor reacondicionando el diseño del robot.

Con todo ello creamos nuestro robot delta con tres grados de libertad, utilizando servomotores para su movimiento.



*Ilustración 18 Diseño 3 grados de libertad*

Como se comentaba con anterioridad, la base fija, los servomotores, las uniones de los servomotores y la primera articulación del robot están extraídos directamente del modelo de la ilustración 16. Sin embargo, se ha variado la articulación 2 y las uniones entre las articulaciones debido a que con este tipo de rótula, podemos conseguir una mayor libertad de funcionamiento y que el robot funcione con mayor fluidez.

Para la creación de dicha rótula, nos basamos en una rótula estudiada en un curso online de CAD, la cual podemos analizar en la ilustración 19. (AUXCAD 2008)

Realizando la única modificación de eliminar la parte interior de la rótula, de forma que quedase hueca y poder diseñar



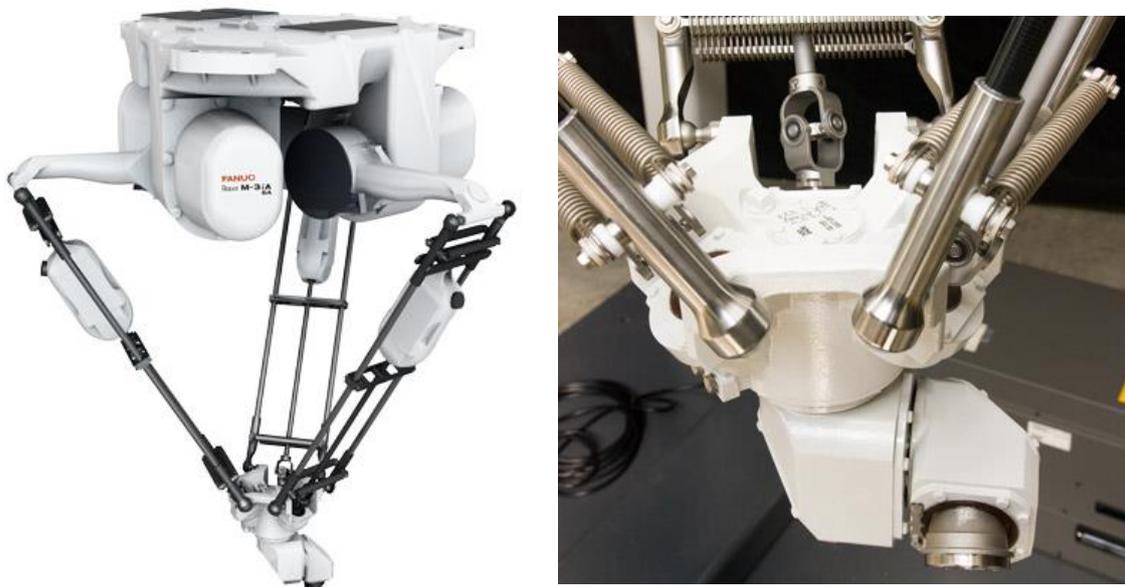
*Ilustración 19 Rótula de inspiración*

una varilla con la parte interna de dicha rótula que permitiese que hubiera movimiento entre ambas partes de rótula. Acción que en el diseño original de la rótula no sucedía.

El otro cambio significativo en el diseño es la base móvil, la cual se adaptó para posteriormente añadir la muñeca que otorgará los restantes tres grados de libertad cumpliendo así con los requisitos del diseño.

## 6.2 Diseño de un robot delta de 6 grados de libertad.

Una vez creado un primer diseño del robot delta, se procedió al estudio del robot delta de la empresa Fanuc, M-3iA/6A debido a que este robot cuenta con seis grados de libertad. De forma que sería un robot factible para los objetivos demandados. (Fanuc 2010)



*Ilustración 20 Robot M-3iA/6A Fanuc*

Observamos diferentes aspectos fundamentales en el robot para su correcto funcionamiento. En primer lugar, el posicionamiento de los motores encargados de crear el movimiento de la muñeca, los cuales no son posicionados en la muñeca, de forma que se reduzca al máximo el tamaño de esta. Es por ello por lo que son albergados al inicio de la segunda articulación y su movimiento es trasladado hasta la muñeca. Por otro lado, debido a que el ángulo entre el eje transmisor del movimiento del motor y la muñeca varían, se observa cómo es necesario una unión cardán para transmitir el movimiento.

Finalmente en la imagen de la muñeca deducimos que un primer motor es el encargado de girar la muñeca respecto al eje vertical del robot, un segundo motor es el encargado de la orientación transversal y el último motor es el encargado de la rotación de la herramienta.

Con esta información nos disponemos al diseño de nuestro robot de seis grados de libertad.

En primer lugar, creamos el soporte para el servomotor el cual replicando al robot modelo, se encuentra al inicio de la segunda articulación. Seguidamente en nuestro diseño hemos optado por la utilización dos ejes de transmisión embebidos para que a la hora del movimiento del robot puedan contraerse y extenderse.

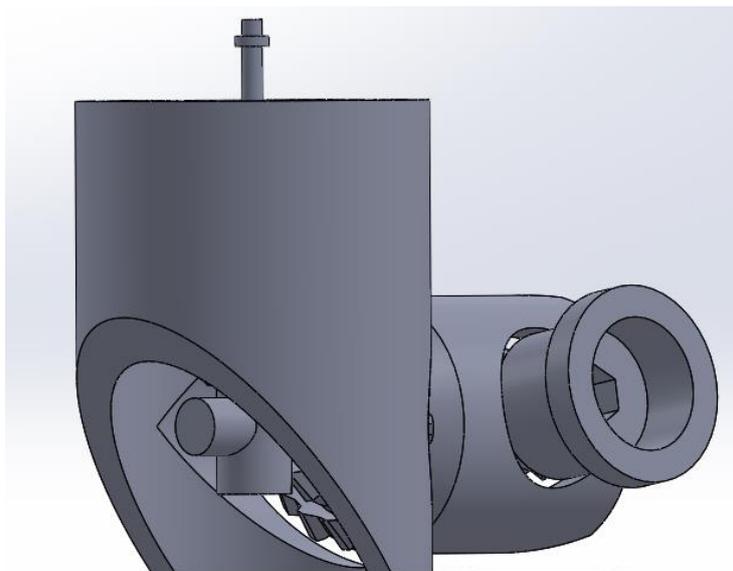
De igual forma en nuestro diseño hemos sustituido el sistema de cardán simple que observábamos en el robot Fanuc por un sistema cardán doble. Con esto conseguimos que el movimiento llegue a la base de forma perpendicular en vez de en forma angular como es en el caso de la muñeca del M-3iA/6A. Para el diseño de dicho Cardán hemos reacondicionado un diseño realizado por un usuario de Grabcad a nuestras necesidades. (YAHIR JIMI MORTACERO CUBA 2019)

Por último, hemos terminado el brazo con un engranaje que será el encargado de transmitir el movimiento del motor a la muñeca.

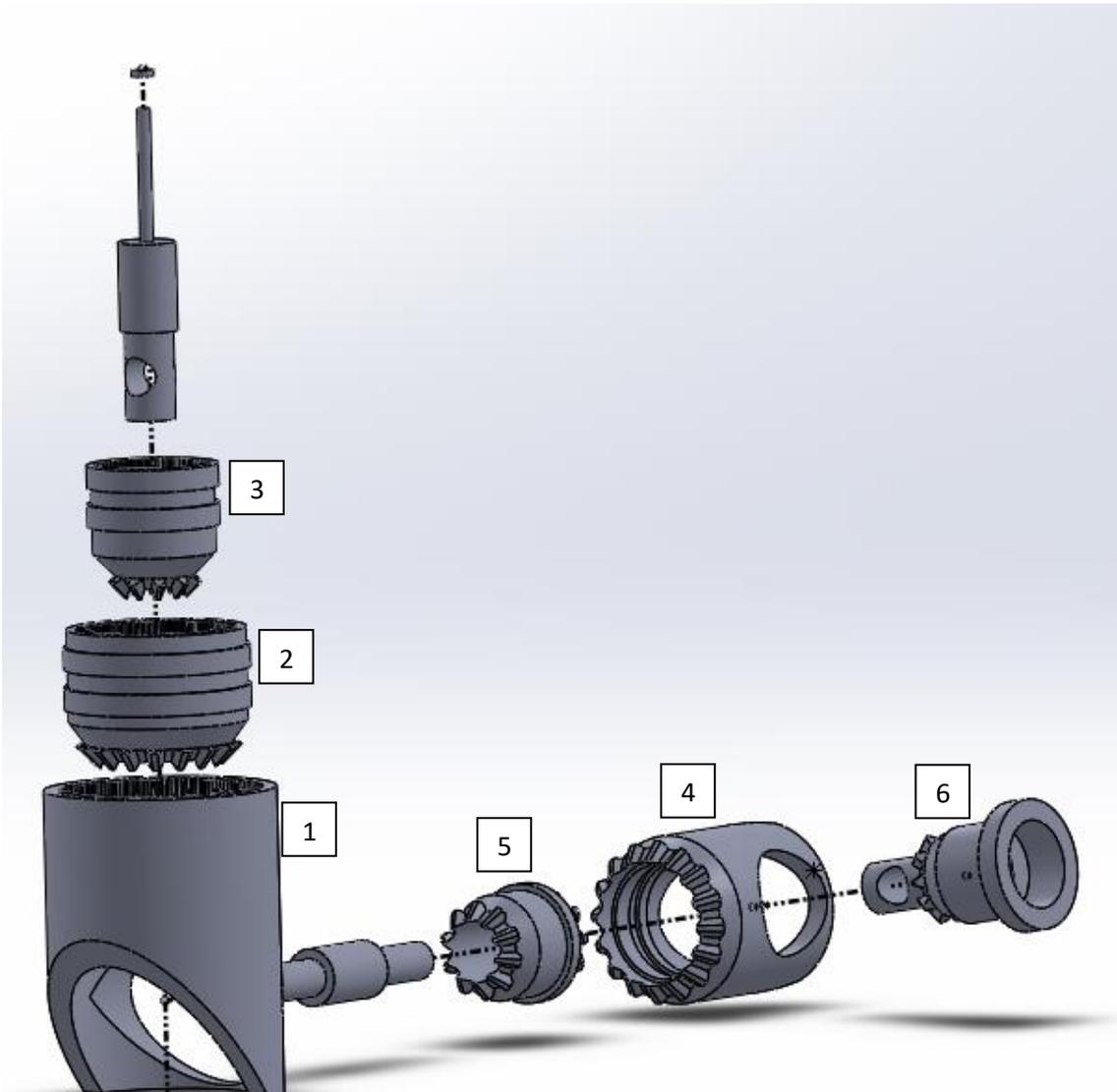


*Ilustración 21 Brazo robot*

Asimismo, hemos creado una muñeca, tratando de replicar el funcionamiento de la muñeca analizada anteriormente, consiguiendo la muñeca que observamos en la ilustración 22.



*Ilustración 22 Muñeca robot delta*



*Ilustración 23 Despiece muñeca robot delta*

Debido a la dificultad de la muñeca, en la ilustración 23 podemos observar la vista explosionada de esta. En primer lugar, observamos que la muñeca está compuesta principalmente por seis piezas móviles, relacionadas entre ellas mediante engranajes y tres piezas para unir la muñeca a la base móvil del robot.

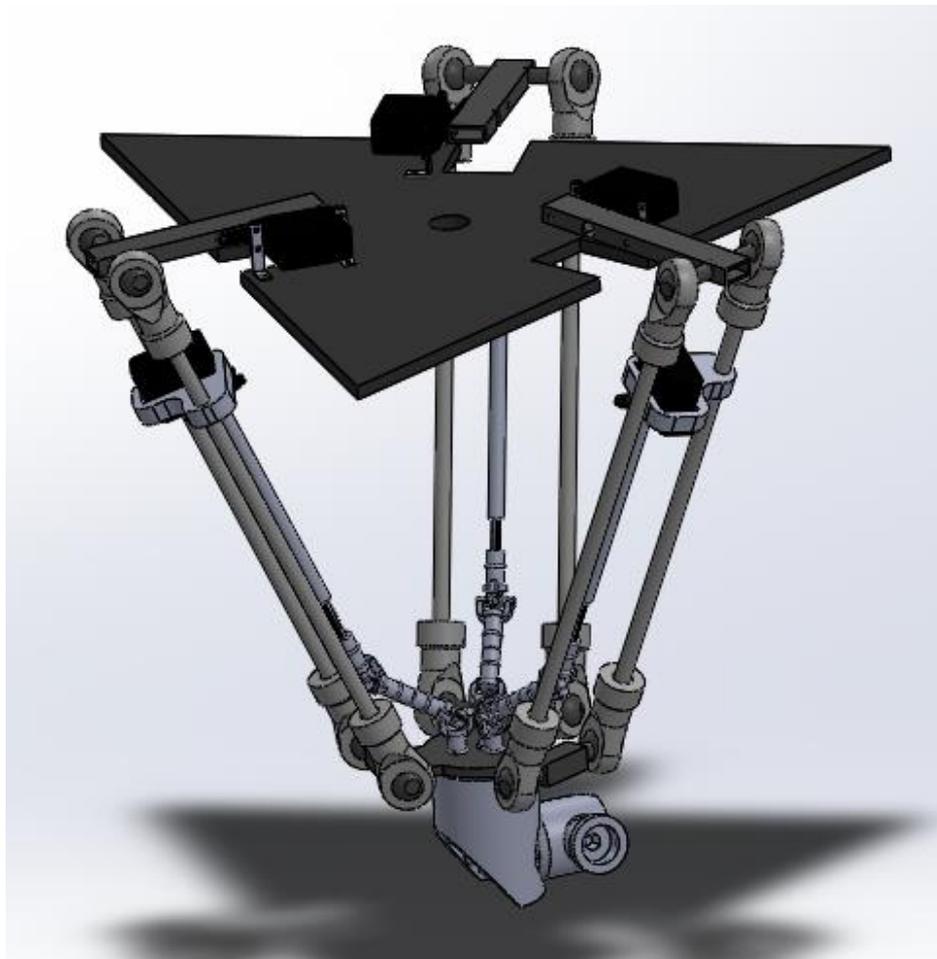
Como hemos visto en el diseño del brazo, el movimiento de servomotor llega de forma perpendicular a la base inferior, a continuación mediante engranajes el giro ocasionado por el servomotor es trasladado a las tres primeras piezas de la muñeca.

De esta forma la pieza 1 es la encargada de rotar la muñeca sobre el eje vertical de la base inferior, por otro lado, las piezas 2 y 3 son las encargadas de transmitir el movimiento al restante de la muñeca. Seguidamente las piezas 4 y 5 se encuentran perpendiculares a las tres primeras. Asimismo, el cuarto fragmento se encarga de orientar la pieza en el eje horizontal. Por último, el giro del tercer servomotor es trasladado por la pieza 5 hasta el efector final 6. En dicha pieza uniremos la herramienta, de forma que el giro de esta pudiese girar la herramienta consiguiendo su correcta orientación.

No obstante, debido a la geometría de la muñeca observamos una dependencia directa. De forma que el giro de la parte 1 de la muñeca causara el giro de la 2 y la 3. De la misma forma el giro de las piezas número 2 y 4 causara una rotación en las piezas 3, 5 y 6, pero sin embargo dicho giro no afectara a la pieza 1. Al igual que la rotación del eslabón 6 no afectará a los eslabones 1, 2 y 4.

Para terminar, encontramos el sistema de unión de la muñeca a el robot, para ello se ha hecho uso de tres piezas como se ha comentado anteriormente y de un anclaje en el eslabón final de la muñeca. De esta forma creamos por dentro de la muñeca un esqueleto que asegura todas las piezas entre si y por la parte superior de la base inferior añadiremos una arandela de sujeción que asegurará que no se desprenda la muñeca.

De esta manera ensamblando todas las piezas como se muestra en el documento de planos logramos crear un robot con seis grados de libertad como el que observamos en la ilustración 24. Dicho diseño posteriormente lo programaremos para conseguir los objetivos planteados.



*Ilustración 24 Diseño robot delta con seis grados de libertad*

El robot finalmente está formado por 137 piezas de las cuales 29 son diferentes. Por su complejidad en el documento de planos se muestran diferentes vistas explosionadas del robot para entender su montaje y los planos de los 29 elementos diferentes para su construcción o análisis. Además de adjuntarse junto a la memoria el robot ensamblado y el diseño de las diferentes piezas de forma digital.

## 6.3 Cálculo de los servomotores

Para realizar el cálculo del servomotor encargado del posicionamiento del robot calcularemos la masa de todas las piezas mediante Solidworks, utilizando el volumen de las piezas y sus correspondientes densidades. además, aplicaremos un factor de corrección del 10% para asegurar el correcto funcionamiento. Calculamos el peso total debido a que, en el caso peor el robot deberá ser capaz de aguantar todo el peso con un único servomotor, pese a que principalmente el peso se repartirá entre los 3 servomotores.

Datos:

Densidad de masa ABS 1020 Kg/m<sup>3</sup> es decir 1.02 g/cm<sup>3</sup>

Densidad de masa aluminio 2700 Kg/m<sup>3</sup> es decir 2.7 g/cm<sup>3</sup>

$$\text{Masa primera articulación (ABS) igual a } 8.42 \text{ cm}^3 * 3 * 1.02 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 25.77 \text{ g} \quad (15)$$

$$\text{Masa unión articulaciones (ABS) igual a } 8.88 \text{ cm}^3 * 6 * 1.02 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 55.35 \text{ g} \quad (16)$$

$$\text{Masa rótula articulación (ABS) igual a } 12.03 \text{ cm}^3 * 12 * 1.02 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 147.25 \text{ g} \quad (17)$$

$$\text{Masa varilla articulación 2 (Aluminio) igual a } 13.57 \text{ cm}^3 * 6 * 2.7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 219.83 \text{ g} \quad (18)$$

$$\text{Masa soporte servomotor muñeca (ABS) igual a } 12.62 \text{ cm}^3 * 3 * 1.02 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 38.62 \text{ g} \quad (19)$$

$$\text{Masa eje principal servomotor (Aluminio) igual a } 4.70 \text{ cm}^3 * 3 * 2.7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 38.07 \text{ g} \quad (20)$$

$$\text{Masa eje secundario servomotor (Aluminio) igual a } 1.1 \text{ cm}^3 * 3 * 2.7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 8.91 \text{ g} \quad (21)$$

$$\text{Masa sistema de cardan (ABS) igual a } 7.41 \text{ cm}^3 * 3 * 1.02 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 22.67 \text{ g} \quad (22)$$

$$\text{Masa base inferior (ABS) igual a } 29.73 \text{ cm}^3 * 3 * 1.02 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 30.32 \text{ g} \quad (23)$$

$$\text{Masa engranaje muñeca 1 (Aluminio) igual a } 0.19 \text{ cm}^3 * 1 * 2.7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0.5 \text{ g} \quad (24)$$

$$\text{Masa engranaje muñeca 2 (Aluminio) igual a } 0.29 \text{ cm}^3 * 1 * 2.7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0.78 \text{ g} \quad (25)$$

$$\text{Masa engranaje muñeca 1 (Aluminio) igual a } 0.39 \text{ cm}^3 * 1 * 2.7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1.05 \text{ g} \quad (26)$$

$$\text{Masa muñeca (ABS) igual a } 96.15 \text{ cm}^3 * 1 * 1.02 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 98.07 \text{ g} \quad (27)$$

De esta forma sumando todas las masas y aplicando el factor de corrección del 10% obtenemos que servomotor deberá ser capaz de mover 760 g pertenecientes al robot. Además de la herramienta y el objeto a mover los cuales no podrán exceder entre ambos los 150 g.

Así llegamos a la conclusión de que deberemos utilizar un servomotor capaz de mover 910 g.

Además, teniendo en cuenta el área de trabajo, el punto en el que servomotor deberá soportar dicho peso será el mostrado en la ilustración 25.

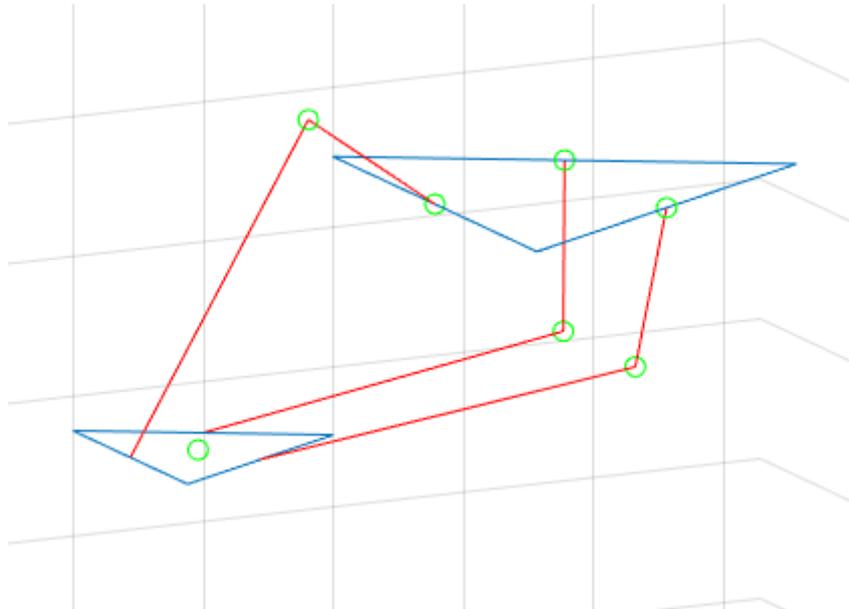


Ilustración 25 Configuración máximo esfuerzo del robot

De este modo se ha calculado el brazo desde el servomotor hasta el centro de la base inferior el cual obteniendo que tiene un tamaño de 16.75 cm.

Posteriormente con el peso y el brazo podemos calcular la fuerza de torsión.

$$0.91Kg * 16.75 cm = 15.24 kg * cm \quad ( 28 )$$

Es por esto por lo que se ha elegido la utilización del servomotor Hiwonder LX-824 HV el cual podemos ver en sus especificaciones que tiene una fuerza de 17 kg\*cm lo cual es suficiente para el correcto posicionamiento de la base inferior del robot. («Datasheet Hiwonder LX-824 HV»)

Weight	57g (LX-824HV)
Dimension	40.00mm*20.14mm*51.10mm(1.57inch*0.8inch*2.02inch)
Speed	0.20sec/60°(11.1V)
Accuracy	0.3°
Torque	17kg.cm/11.1V(LX-824HV)
Working Voltage	9-12.6V
Nominal Voltage	11.1V
Stall Current	1.7-2A

Ilustración 26 Datasheet Hiwonder LX-824 HV

Asimismo, encontramos los servomotores de las muñecas los cuales hemos visto anteriormente que están unidos a la muñeca por engranajes. De esta forma para el cálculo de dichos servomotores deberemos tener en cuenta la relación entre engranajes junto al peso máximo de la muñeca, la herramienta y el objeto a mover.

En primer lugar, calculamos la masa que deberá mover dicho servomotor.

$$\text{Masa muñeca (ABS) igual a } 96.15 \text{ cm}^3 * 1 * 1.02 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 98.07 \text{ g} \quad (29)$$

$$\text{Masa máxima entre herramienta y objeto} = 150 \text{ g} \quad (30)$$

A continuación, obtenemos un peso total aplicando el factor de corrección del 10 % de 273 g.

Por otro lado, en este caso el brazo máximo viene definido por el sistema de Cardan, siendo de una longitud de 5 cm, de forma que la fuerza de torsión es:

$$0.273 \text{ Kg} * 5 \text{ cm} = 1.365 \text{ kg} * \text{cm} \quad (31)$$

A continuación, se han analizado las fórmulas de la transmisión de la fuerza mediante engranajes haciendo la simplificación de no considerar las pérdidas de potencia entre los engranajes, de esta forma obtenemos la siguiente igualdad:

$$T_1/Z_1 = T_2/Z_2 \rightarrow T_1 = T_2 * \frac{Z_1}{Z_2} \quad (32)$$

T = Par de fuerza desarrollado.

Z = Número de dientes.

Analizando nuestra muñeca observamos que la relación de dientes entre los diferentes segmentos de la muñeca es uno, de forma que solo deberemos analizar el caso peor entre la unión entre la muñeca y el robot donde sí que encontramos una variación del número de dientes.

Para concluir, teniendo en cuenta que el número de dientes  $Z_1$  siempre es menor que  $Z_2$ , el caso peor sucederá con la menor  $Z_2$  perteneciente al tercer segmento de la muñeca. De forma que obtenemos que  $Z_1 = 34$  y  $Z_2 = 125$  con estos datos calculamos la fuerza de torsión del servomotor:

$$T_1 = 1.365 * \frac{34}{125} = 0.40 \text{ Kg} * \text{cm} \quad (33)$$

Debido al par tan pequeño resultante, la variedad de servomotores es muy elevada. Nosotros recomendamos el AR-3603 HB de la marca Power Hd, que como se muestra en la imagen 21 tiene una fuerza de torsión de 3.5 kg\*cm. Suficiente para nuestra muñeca.

Item	4.8V
空載轉速 Operating speed (at no load)	0.14 sec/60°
空載電流 Running current (at no load)	250 mA
停止扭力 Stall torque (at locked)	3.5 kg-cm,

Ilustración 27 Datasheet AR-3603

## 7 Entorno de simulación

En el apartado anterior se describieron los diferentes elementos que formaban el modelo del robot. De esta forma, una vez diseñadas las diferentes piezas, nos disponemos a guardarlas en .stl debido a que este formato es el más usado para el tratamiento de objetos en 3D y el cual es aceptado por la mayoría de herramientas gráficas.

De esta forma en este apartado se expondrá la programación de nuestro robot en el entorno de simulación V-rep. Se iniciará el capítulo con la importación de dichos archivos stl y la creación de la estructura de nuestro robot. Seguidamente se añadirán todas las uniones entre las piezas especificando sus características. Una vez definida la estructura del robot, se definirán las diferentes cadenas cinemáticas que lo componen, concluyendo con la programación del robot para su correcto funcionamiento.

### 7.2 Ensamblaje del robot delta en V-REP

Se inicia el ensamble con la importación de las piezas mediante archivos stl. Al importarlas cada pieza funciona por separado sin tener ninguna relación con el conjunto.

Además de las piezas diseñadas en el tercer capítulo, se añadirá la herramienta del robot, la cual hemos escogido que sea una ventosa para que el robot pueda coger diferentes tipos de objetos. Esta herramienta no la hemos diseñado nosotros, sino que la hemos extraído de Grabcad ya diseñada. (Marco Oliveira 2019)

Por otro lado, los archivos stl son muy complejos debido a que están formados por miles de triángulos, lo cual hace muy complicada la interacción con el programa, es por ello que lo primero que se realizara es la creación de formas primitivas que envuelvan a la pieza original en una capa secundaria.

De forma que la pieza primitiva será la utilizada para realizar los cálculos de colisiones y de posición, aunque realmente permanecerá en una capa oculta. Visualizando sus formas complejas las cuales serán hijas de las primitivas por lo que se moverán conjuntamente a ellas.

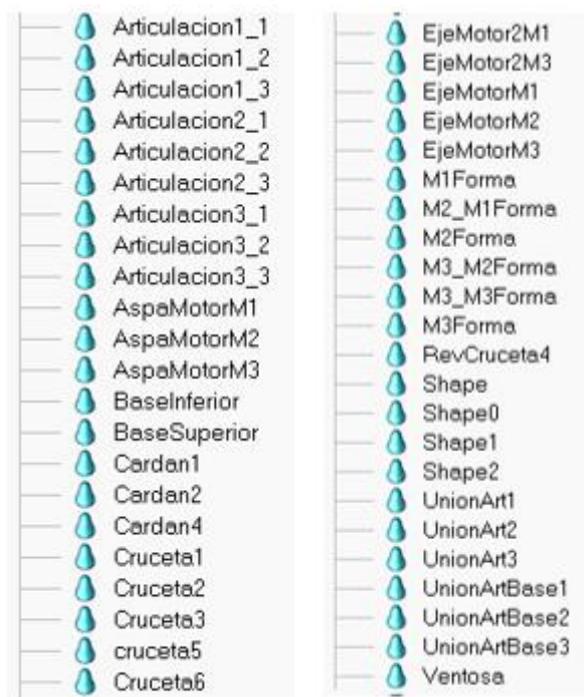


Ilustración 28 Importación de piezas

De esta forma, hemos creado la jerarquía que se observa en la ilustración 29. Donde se observa que el robot ha sido construido desde la base superior, debido a ser la parte no móvil del robot. Posteriormente encontramos los tres brazos y la base inferior en el siguiente nivel jerárquico.

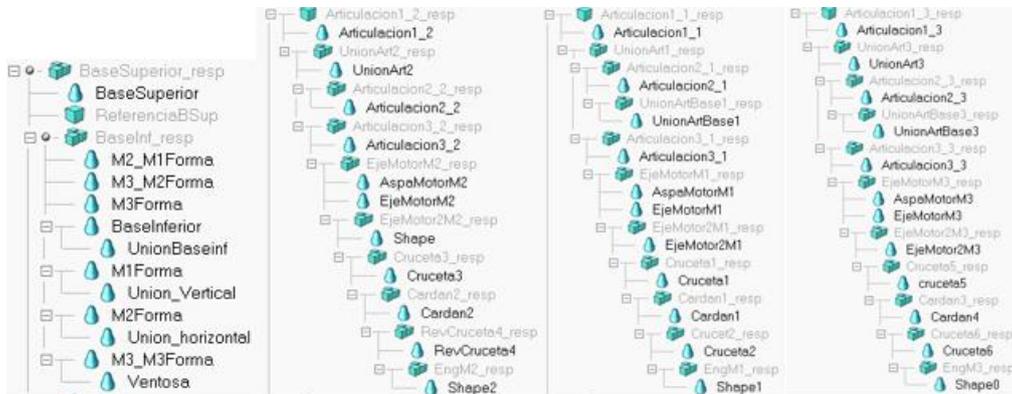


Ilustración 29 Jerarquía ensamblaje

En la primera parte del código observamos que la muñeca no está envuelta en una figura primitiva, esto es debido a la complejidad de la muñeca y al tener las diferentes partes de la muñeca embebidas, además de la imposibilidad de colisionar con las demás partes del robot. Por todo ello, se ha hecho la simplificación de no englobarla en figuras primitivas.

Por otro lado, en las otras tres partes del ensamble se repite el mismo patrón, debido a que los tres brazos funcionan de forma idéntica. Primeramente, encontramos la articulación 1 la cual mueve a la unión entre las articulaciones que traslada el movimiento hasta la articulación 2. Además, la articulación 2 está formada por dos piezas paralelas, las cuales posteriormente estudiaremos como van unidas mediante una cadena cinemática cerrada. En adición, analizando la segunda articulación, observamos que en una de las dos partes tenemos unida la unión entre articulaciones la cual nos permitirá crear la cadena cinemática que comentábamos, mientras que en la otra mitad de la articulación observamos que está unido el mecanismo de funcionamiento de la muñeca. Partiendo desde la sujeción del motor hasta el engranaje que hará moverse a la muñeca.

De esta forma gracias al ensamblaje analizado anteriormente, obtenemos estas dos representaciones en dos capas diferenciadas.

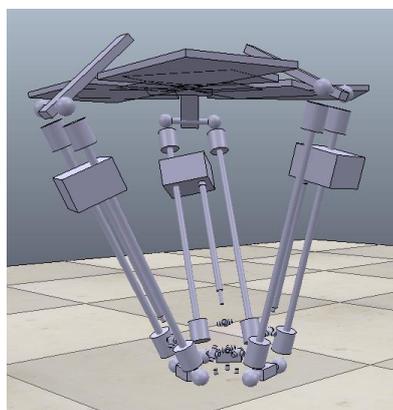


Ilustración 30 Diseño robot primitivo



Ilustración 31 Diseño robot complejo

Por un lado, observamos el esquema de las figuras primitivas, que como se ha comentado anteriormente se utilizara para los cálculos, especialmente el de colisiones. Mientras que en el esquema de la ilustración 31 observamos el diseño completo del robot con las piezas diseñadas en el capítulo anterior.

A partir de la jerarquía anterior añadiremos las diferentes articulaciones entre las piezas, para que el robot se mueva correctamente.

Empezamos con el análisis de la base inferior junto a la muñeca, de los cuales podemos ver en la ilustración 32 su jerarquía y en la 33 su representación.

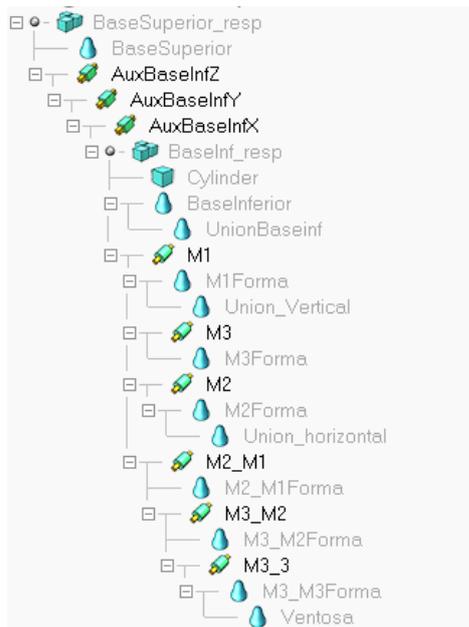


Ilustración 32 Jerarquía muñeca

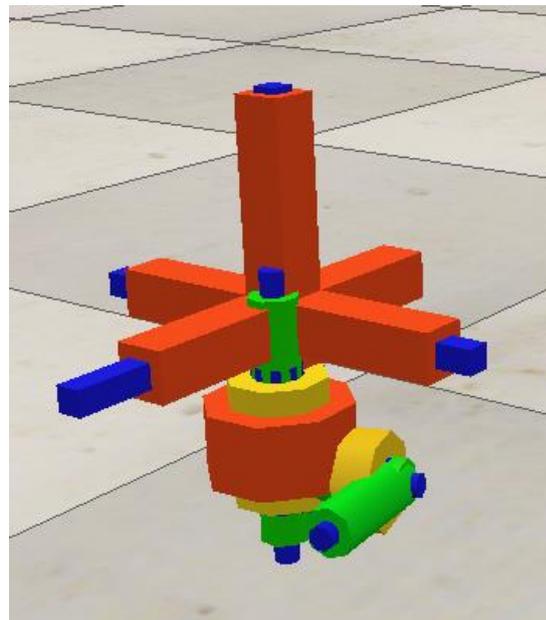


Ilustración 33 Articulaciones muñeca

Lo primero que se observa en la jerarquía es la utilización de tres articulaciones cartesianas para la unión de la base superior con la inferior. Dichas articulaciones no existen en el robot físico, sino que son articulaciones auxiliares para posteriormente realizar los cálculos de posicionado de la base inferior.

Seguidamente encontramos la configuración de la muñeca la cual es hija de la base inferior, para que la muñeca se desplace junto a la base inferior. La configuración de la muñeca la empezamos con el motor M1, el cual se encuentra en posición vertical y es el encargado de rotar la herramienta alrededor del eje vertical, además dicho motor arrastra consigo a M3 y M2, los cuales son concéntricos a M1. También arrastra al segundo eslabón del segundo servomotor, debido a la relación de dependencia que se estudió en el capítulo anterior, dicha articulación se encuentra en el plano horizontal y es la encargada de orientar el eje final. De la misma forma que antes, M2\_M1 arrastra al engranaje que tiene concéntrico debido a la dependencia de la muñeca. Por último, encontramos la articulación M3\_3, la cual utiliza la rotación del servomotor 3, para girar la herramienta.

Acto seguido realizamos el mismo análisis con los brazos, debido a que los tres tienen la misma estructura estudiaremos únicamente uno de ellos.

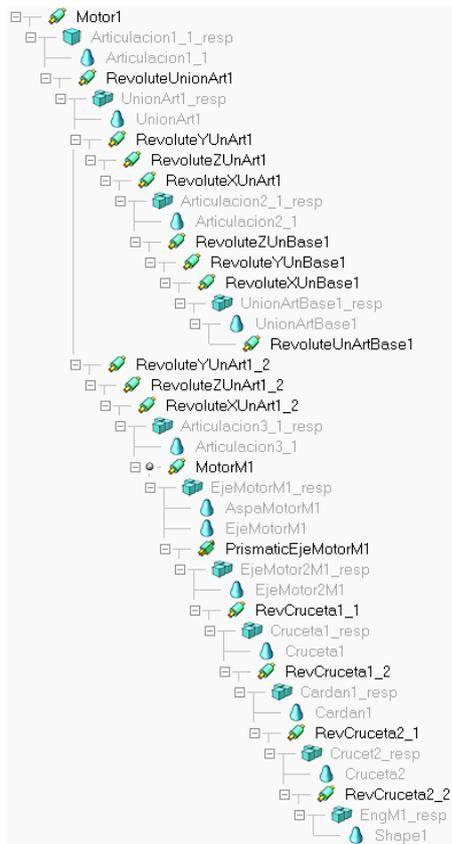


Ilustración 34 Jerarquía ensamblaje

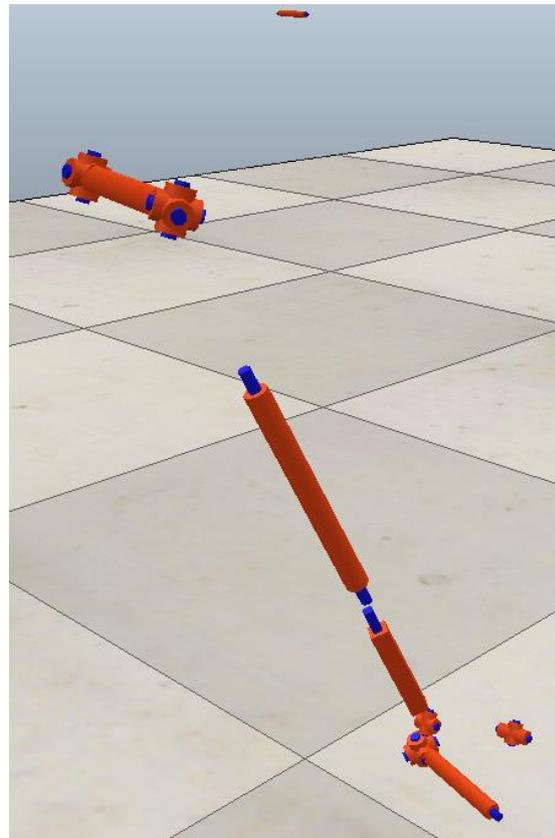


Ilustración 35 Articulaciones brazo

En la ilustración 34 se observa que el primer elemento del brazo es el Motor 1, dicha articulación representa el eje del motor por lo que es la encargada de hacer de unión entre la base superior y el brazo. A continuación, encontramos una articulación de revolución que une los dos segmentos principales del brazo, unida a esta encontramos, como observamos en la imagen 34, dos conjuntos de articulaciones de revolución formados por tres articulaciones perpendiculares entre si cada uno, de forma que conseguimos replicar el funcionamiento de la rótula.

Como ya se ha comentado anteriormente, la estructura del segundo segmento del brazo se divide en dos, por un lado, tenemos que una de las dos barras termina con otro conjunto de articulaciones como el estudiado anteriormente para simular la rótula, la cual va unida a la articulación que conectará el brazo con la base inferior.

Por otro lado, en la otra parte de la segunda articulación del brazo encontramos en primera instancia el servomotor encargado del movimiento de la muñeca, seguido de una articulación prismática encargada de dar la posibilidad de que el eje de revolución de contraiga. Para concluir encontramos el sistema de cardan compuesto por dos crucetas con dos articulaciones de revolución perpendiculares, las cuales son las encargadas de cambiar la orientación del eje de rotación para trasladar finalmente dicho movimiento de forma perpendicular a la base inferior hasta los engranajes de la muñeca.

Concluimos el ensamble del robot con la adición de *dummies* para la creación de las diferentes cadenas cinemáticas que encontramos en el robot, dichos *dummies* los programaremos posteriormente en el siguiente apartado. Además, los *dummies* siempre los encontramos en parejas en nuestro robot, debido a la configuración «tip-target» que vamos a utilizar. Por un lado, encontramos el *dummy Target* el cual se mueve libremente y por otro lado el *dummy Tip*, encargado de seguir al *Target* para cerrar las cadenas.

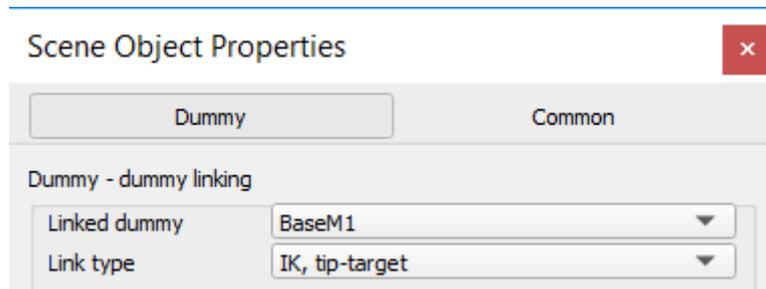


Ilustración 36 Propiedades de los Dummy

Para elegir dicho tipo de unión deberemos seleccionar en las propiedades de los *dummy* la unión «Tip-Target» como se observa en la ilustración 36, además de especificar en cada caso con que otro *dummy* se va a realizar la unión.

Empezamos agregando los *dummies* encargados de cerrar las dos cadenas cinemáticas de la segunda articulación. De forma que en la parte final de la unión de las articulaciones encontramos el *dummy Target* del brazo y en el final de la segunda parte del brazo encontramos el *dummy Tip* como se observa en la ilustración 37, con esto conseguimos que la segunda parte del brazo siga a la primera, simulando el funcionamiento que tendría la estructura del brazo en la realidad.

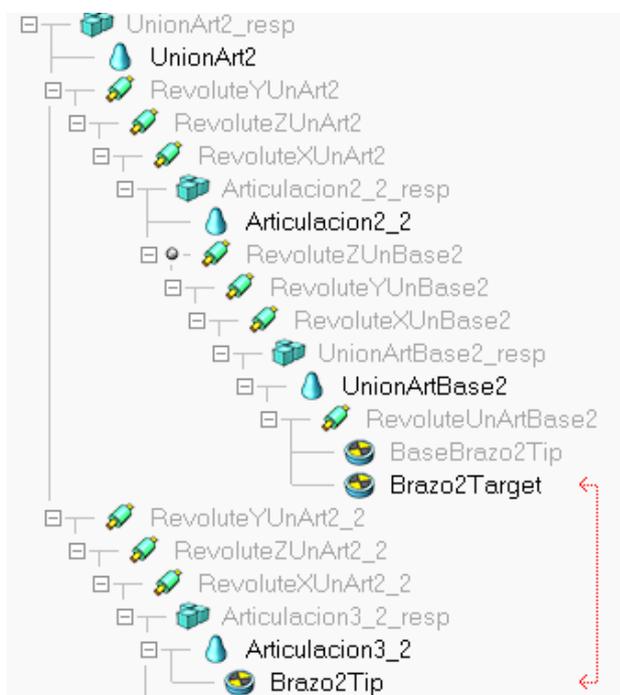


Ilustración 37 Unión cadena cinemática del brazo



Ilustración 38 Representación Dummies brazo

También encontramos la unión entre los brazos y la base inferior.

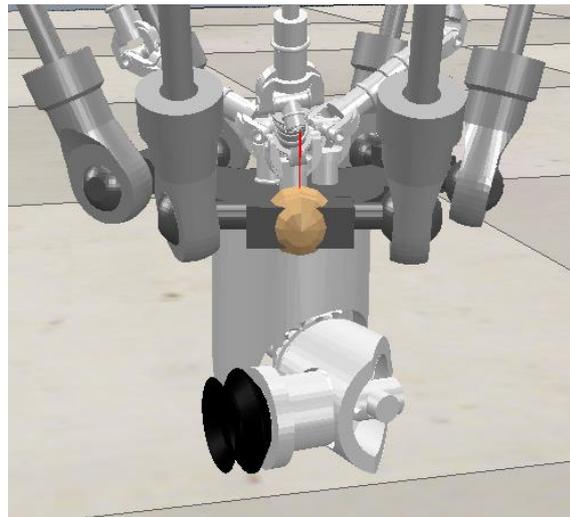
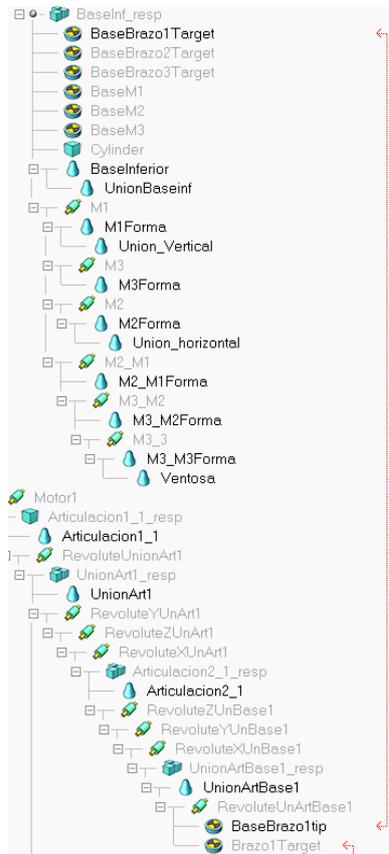


Ilustración 39 Representación Dummies brazo y base inferior

Al inicio de la ilustración 40 encontramos los *Target* en la base inferior, ya que la base inferior se moverá libremente para conseguir las posiciones requeridas, siendo los brazos los que deberán ajustarse para seguirla. Es por ello que en la pieza que hace de unión entre el brazo y la base inferior encontramos el *dummy Tip*, enlazado con el *Target* de la base móvil que veíamos al inicio de la imagen.

Ilustración 40 Unión cadena cinemática del brazo y base inferior

Para finalizar, encontramos la unión entre la base inferior y la transmisión del giro de los giros de los servomotores encargados de mover la muñeca.

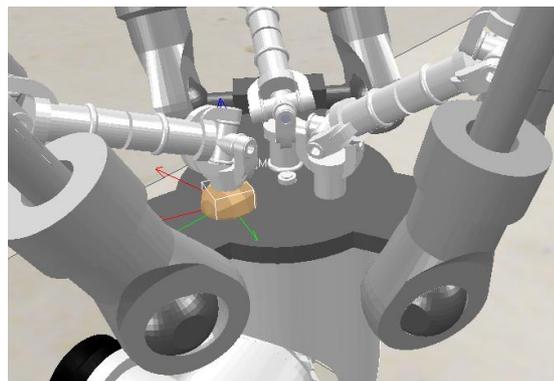
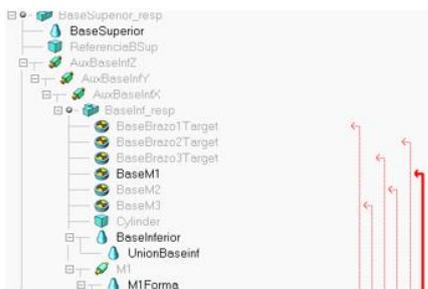


Ilustración 41 Representación Dummies cardan y base inferior

De igual forma que el anterior, encontramos el *Target* en la base y el *Tip* en el final del sistema de Cardan, de esta forma el programa calculará la configuración necesaria del sistema de Cardan para que ambos *dummies* estén en la misma posición y orientación.



Ilustración 42 Unión cadena cinemática entre el sistema de cardan y base inferior

### 7.3 Programación del robot delta en V-REP

Luego de haber concluido el ensamblaje del robot, procedemos a la configuración de los distintos elementos de la estructura.

Comenzamos por definir las propiedades de las figuras primitivas.

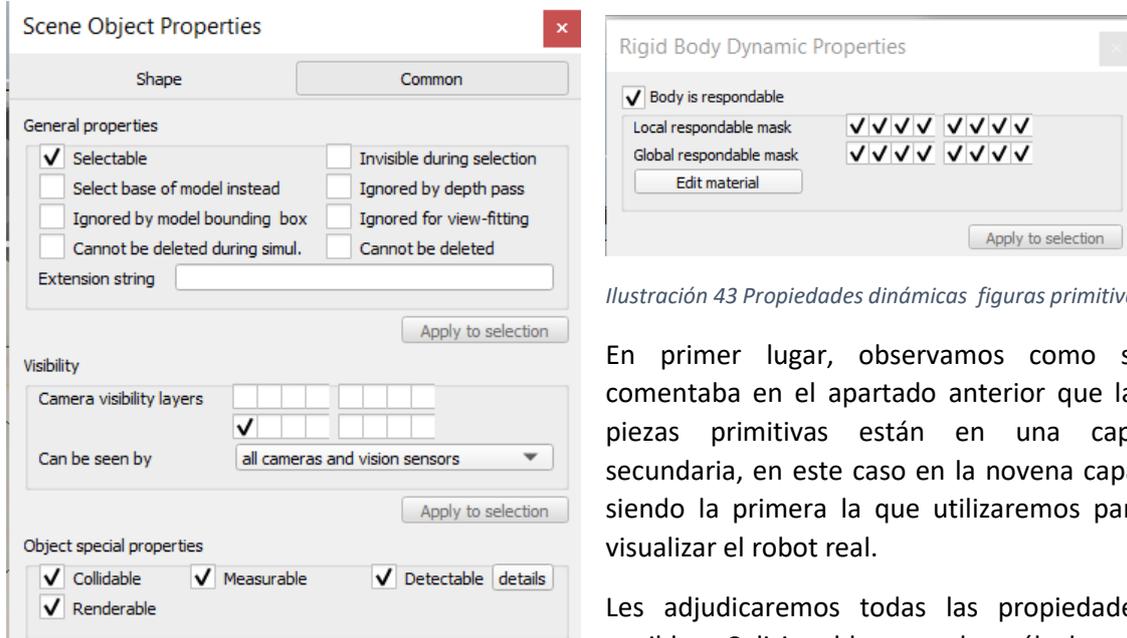


Ilustración 44 Propiedades figuras primitivas

Ilustración 43 Propiedades dinámicas figuras primitivas

En primer lugar, observamos como se comentaba en el apartado anterior que las piezas primitivas están en una capa secundaria, en este caso en la novena capa, siendo la primera la que utilizaremos para visualizar el robot real.

Les adjudicaremos todas las propiedades posibles. Colisionable, para los cálculos de colisiones que se han comentado con anterioridad, medible, detectable por otros sistemas y renderizable para poder ser usado conjuntamente con sensores en estudios futuros. Además, la mayor diferencia entre los objetos puros y las figuras primitivas lo encontramos en la imagen 43, ya que en el caso de las figuras primitivas marcamos la casilla «Body is responsible» haciendo que los cuerpos sean reactivos y se puedan producir reacciones entre las distintas piezas del robot.

Les adjudicaremos todas las propiedades posibles. Colisionable, para los cálculos de colisiones que se han comentado con anterioridad, medible, detectable por otros

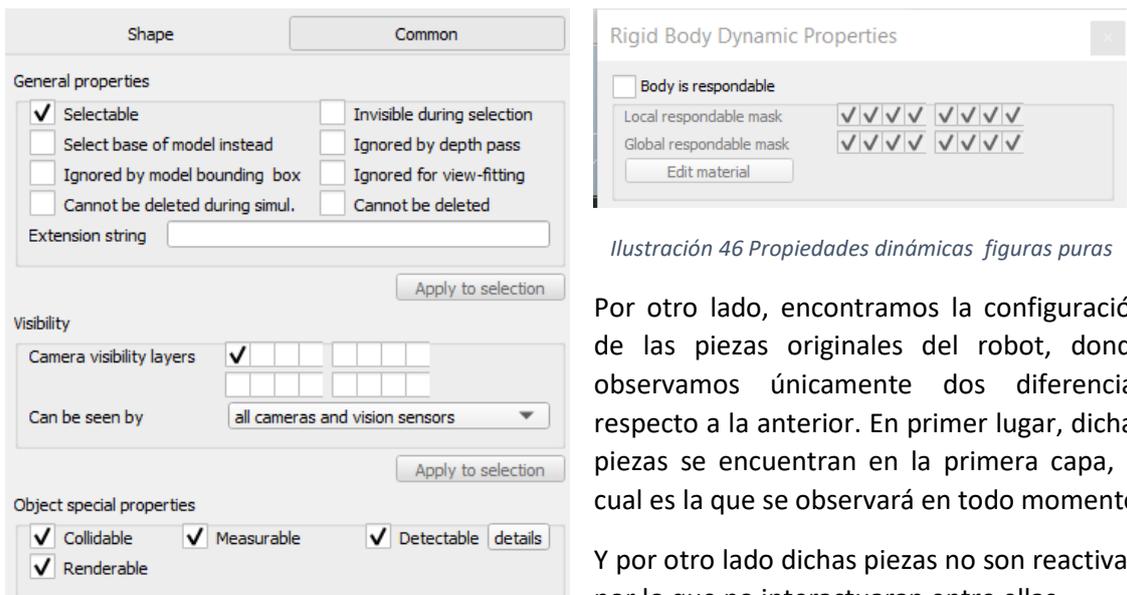


Ilustración 45 Propiedades figuras puras

Ilustración 46 Propiedades dinámicas figuras puras

Por otro lado, encontramos la configuración de las piezas originales del robot, donde observamos únicamente dos diferencias respecto a la anterior. En primer lugar, dichas piezas se encuentran en la primera capa, la cual es la que se observará en todo momento.

Y por otro lado dichas piezas no son reactivas, por lo que no interactuarán entre ellas.

A continuación, programaremos los distintos tipos de articulaciones, empezando por las encargadas del posicionado del robot.

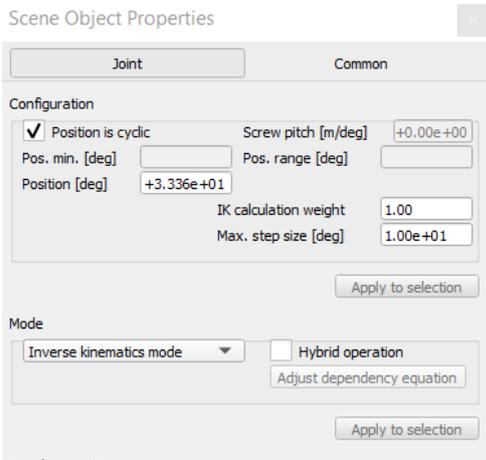


Ilustración 47 Propiedades de los Joint

En este caso los *Joint* son calculados por el programa mediante cinemática inversa debido a que deberán ajustarse para conseguir una configuración específica del robot para moverlo a la posición final.

De este modo el propio programa calcula la posición de las articulaciones en función de las cadenas cinemáticas definidas, los límites del robot y las especificaciones de movimiento.

La mayor parte de las articulaciones del robot utilizan esta articulación debido que gracias a ella como se ha comentado anteriormente el programa es capaz de moldear el robot para conseguir los diferentes objetivos.

El otro caso que encontramos son las articulaciones de la muñeca que debido a la dependencia y a los engranajes siguen la programación que observamos en las ilustraciones 48 y 49.

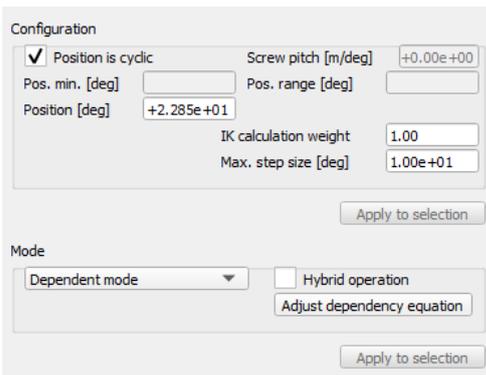


Ilustración 48 Propiedades Joint de la muñeca

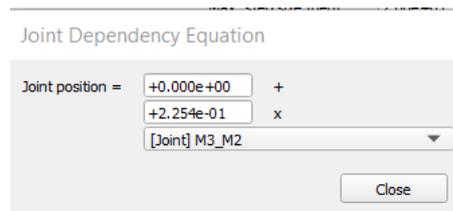


Ilustración 49 Formula dependencia de las articulaciones

En primer lugar, en la configuración del *Joint* elegimos el modo dependiente lo cual nos activa el botón para ajustar la ecuación de dependencia. Al pulsarlo nos aparece la ventana que observamos en la ilustración 49, en dicha ventana podemos crear una ecuación de dependencia respecto a otra articulación del sistema. Como se observa, encontramos una constante que en nuestro caso siempre será nula y posteriormente un factor que multiplica al *Joint* de referencia.

En nuestro caso tenemos tres segmentos de la muñeca con la configuración de cinemática inversa que hemos observado anteriormente, y los restantes junto con los servomotores de las muñecas con la configuración de dependencia, para que la posición calculada sea trasladada por todo el sistema de movimiento de la muñeca.

Por último, encontramos la programación de los *Dummies* los cuales anteriormente hemos observado que son los encargados de cerrar las diferentes cadenas cinemáticas del robot.

Encontramos tres grupos de relaciones cinemáticas diferentes, las cadenas encargadas de cerrar las segundas articulaciones de los brazos, las que hacen posible la unión de los brazos a la base móvil y las encargadas de posicionar los engranajes de la muñeca en su posición y orientación correctas. Pese a ello todas comparten la misma configuración.

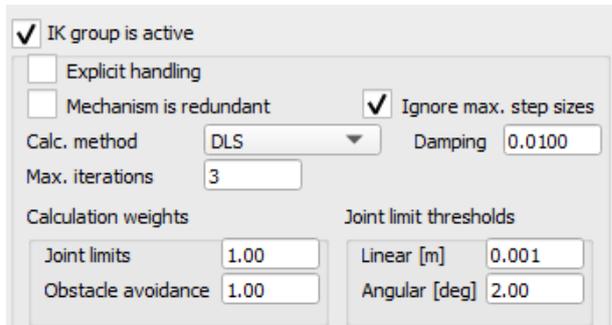


Ilustración 50 Propiedades de los Dummy

En primer lugar, escogemos el método de cálculo DLS debido a que pese a ser más lento, la precisión es mayor y debido a la complejidad del robot, si escogiésemos el método de «Pseudo inverse» el programa no encontraría una solución posible.

El *damping* hemos escogido un valor pequeño, 0.01, debido a que cuanto mayor sea, mayor necesidad de cómputo tendrá y el robot funcionará con mayor lentitud.

Seguidamente programamos los elementos de cada cadena cinemática.

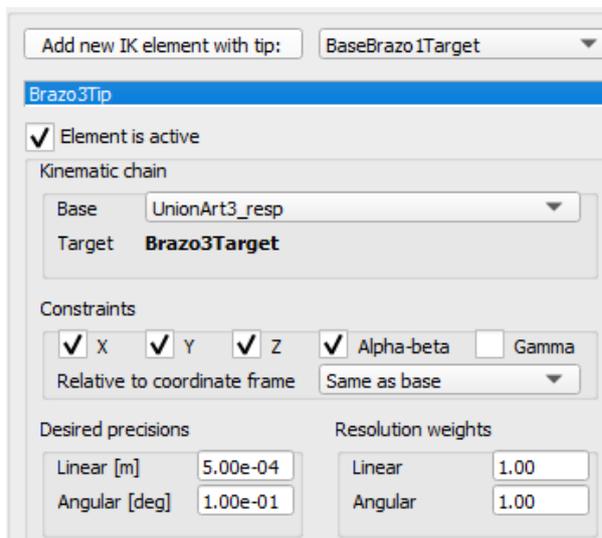


Ilustración 51 Propiedades de los elementos de los Dummies

En el inicio de la ilustración 51 se pide seleccionar el Tip correspondiente a la cadena cinemática cerrada que vamos a configurar, en este caso empezaremos por la cadena cinemática del brazo.

De esta forma al seleccionar el Tip «Brazo3Tip», automáticamente nos detecta el Target asociado, teniendo únicamente que definir el elemento que une a ambas partes de la cadena cinemática.

Posteriormente llegamos a la configuración del funcionamiento de la cadena cinemática, debido a que necesitamos que los dos *dummies* se

encuentren en la misma posición y con dos ejes de orientación alineados seleccionamos las limitaciones que observamos en la imagen dejando la precisión y la resolución por defecto de V-REP.

Concluida esta programación, conseguimos que el robot simule los movimientos que realizaría al construirlo, pudiendo así proceder a la realización de las pruebas propuestas al inicio del trabajo, para corroborar su correcto funcionamiento.

## 8 Simulación

Para concluir el estudio de nuestro robot delta de seis grados de libertad, se ha creado un entorno de trabajo, como el de la ilustración 52. Observamos que cuenta con dos mesas de diferentes orientaciones y alturas junto con un objeto para interactuar con el robot. En dicho entorno de trabajo, realizaremos una trayectoria con nuestro robot variando la posición y orientación de la herramienta final y posteriormente realizaremos la tarea «Pick and Place» cambiando la posición y orientación del objeto.

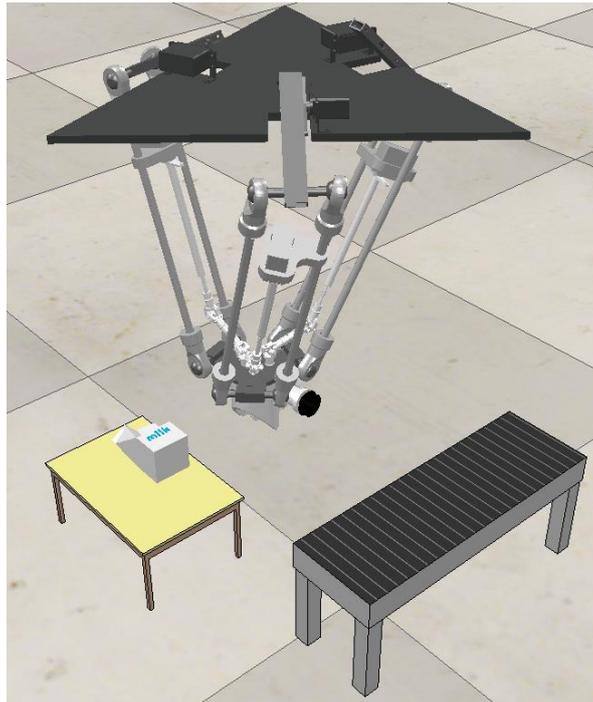
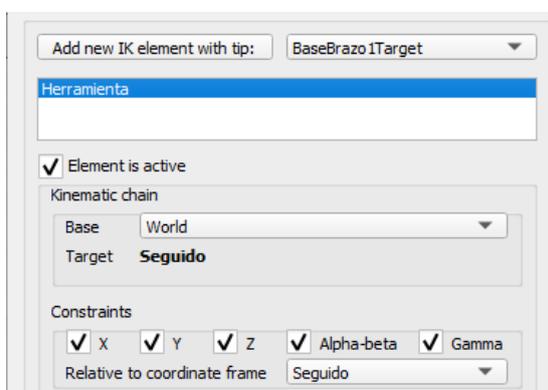


Ilustración 52 Entorno de trabajo V-REP

Para realizar la simulación del robot, se ha optado por la utilización de *Dummies* controlados mediante código. De esta forma encontraremos un *Dummy* del tipo *Tip* en la herramienta de nuestro robot, y otro *Target* que será controlado mediante código para en un primer momento realizar una trayectoria y posteriormente coger el tetrabrik de leche.



Al igual que en el resto de *Dummies* del robot hemos utilizado el método de cálculo DLS, sin embargo, dentro de las especificaciones de los elementos de la relación encontramos una diferencia muy importante.

En este caso sí que necesitamos que ambos *dummies* tengan la misma posición y orientación en los tres grados, ya que si no, no podríamos asegurar la correcta orientación de la herramienta.

Ilustración 53 Propiedades Dummies herramienta

## 8.2 Trayectoria de demostración

Para conseguir que el robot realice una trayectoria definida, lo primero que hemos tenido que ajustar son los puntos de la trayectoria para que se encontraran dentro del espacio de trabajo que se ha estudiado con anterioridad y además que no colisionasen con los objetos del entorno. Una vez analizados estos puntos, se ha implementado mediante la herramienta *Path* de V-REP una una trayectoria tridimensional basada en las curvas de Bézier entre los diferentes puntos definidos. Gracias a esto obtenemos la trayectoria de la ilustración 54.

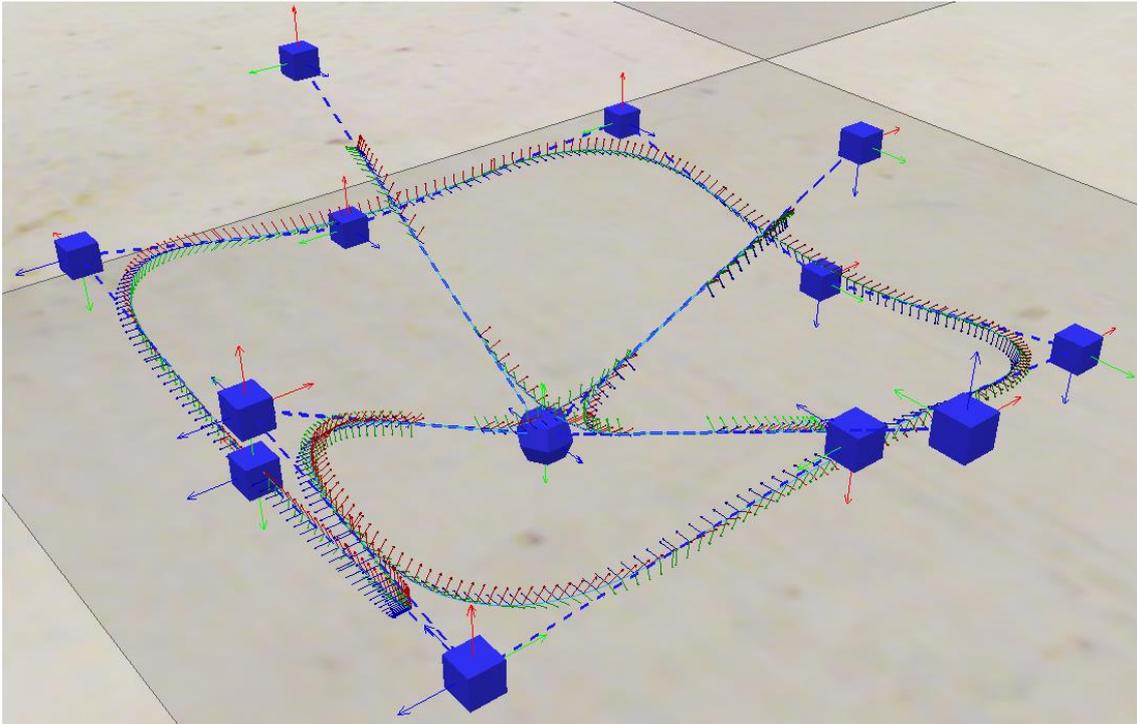


Ilustración 54 Path prueba funcionamiento robot delta

Como podemos comprobar en la imagen 54, al definir los diferentes puntos, el programa calcula automáticamente una trayectoria entre ellos. Además, el propio programa va variando de forma gradual la orientación para adecuarse a la orientación de cada instante definido. Pese a ello para el correcto funcionamiento del robot, los cambios de orientación deben de ser graduales, es decir, no es posible cambiar 180 grados la orientación de la muñeca en un segundo, sino que se necesita un cierto espacio de tiempo para adecuar la muñeca a la nueva orientación.

Una vez definida la trayectoria necesitamos enlazar el *dummy Target* a dicha trayectoria, de esta forma al activar la simulación el *Target* seguirá la trayectoria y a su vez el *Tip* de la muñeca seguirá al *Target*, consiguiendo de esta forma que el efector final de la muñeca siga la trayectoria definida.

Para ello es necesario realizar dicha unión mediante código Lua, como se muestra en la imagen 55.

```

odometry=sim.getObjectHandle('Seguido')

path=sim.getObjectHandle('Path')
pathLength=sim.getPathLength(path)
posOnPath=0
v=0.01
i=0
l=0
while true do

    if(l<1.05) then

        posOnPath=posOnPath+v*sim.getSimulationTimeStep()
        while(i<200) do
            i=i+1
            l = posOnPath/pathLength
            position=sim.getPositionOnPath(path,l)
            orientation=sim.getOrientationOnPath(path,l)

            sim.setObjectPosition(odometry,-1,position)
            sim.setObjectOrientation(odometry,-1,orientation)
        end
        l = posOnPath/pathLength

        position=sim.getPositionOnPath(path,l)
        orientation=sim.getOrientationOnPath(path,l)

        sim.setObjectPosition(odometry,-1,position)
        sim.setObjectOrientation(odometry,-1,orientation)|
        sim.switchThread()
    end
end

```

Ilustración 55 Código trayectoria de demostración

Dicho código está basado en la lectura de la posición y orientación de cada punto de *path* y la escritura de estos valores en el *Dummy* Seguido. Para ello observamos que al inicio del programa se declaran los dos elementos sobre los que vamos a actuar, el *Dummy* y el *Path* junto a la inicialización de las variables que utilizaremos en nuestro programa.

Posteriormente entramos en el cuerpo del programa el cual observamos que se repite continuamente debido a estar englobado por un «While true do». Dentro de este entramos en la condición de que se ejecute el código siempre y cuando la trayectoria no haya terminado. De esta forma al terminarse la trayectoria el programa se reiniciará y volverá a realizarla.

Puede apreciarse que se realiza una parada en la primera posición de la trayectoria, esto es para poder trasladar el robot desde su ubicación inicial hasta el primer punto de la trayectoria de forma segura antes de empezar con la simulación de la trayectoria.

De esta forma gracias a toda esta programación obtenemos la simulación de la trayectoria que observamos en el video «Prueba1\_TrayectoriaDemostracion» que se adjunta junto a la memoria.

## 8.3 Función pick and place

Para implementar la función pick and place utilizamos el mismo sistema que para la simulación de la trayectoria, haciendo que el *dummy* Seguido se mueva a través de *paths*. La única diferencia es que esta vez dividiremos la trayectoria en tres partes además de la utilización de un *dummy* adicional para simular el movimiento del tetrabrik. De esta forma la primera trayectoria la realizará únicamente el robot desde la posición de equilibrio hasta el objeto, en la segunda trayectoria se simulará que el robot coge el objeto y lo traslada de posición de forma que realizan de forma conjunta el robot y el objeto la trayectoria y la última trayectoria la realizará otra vez el robot únicamente para volver el robot a la posición de equilibrio.

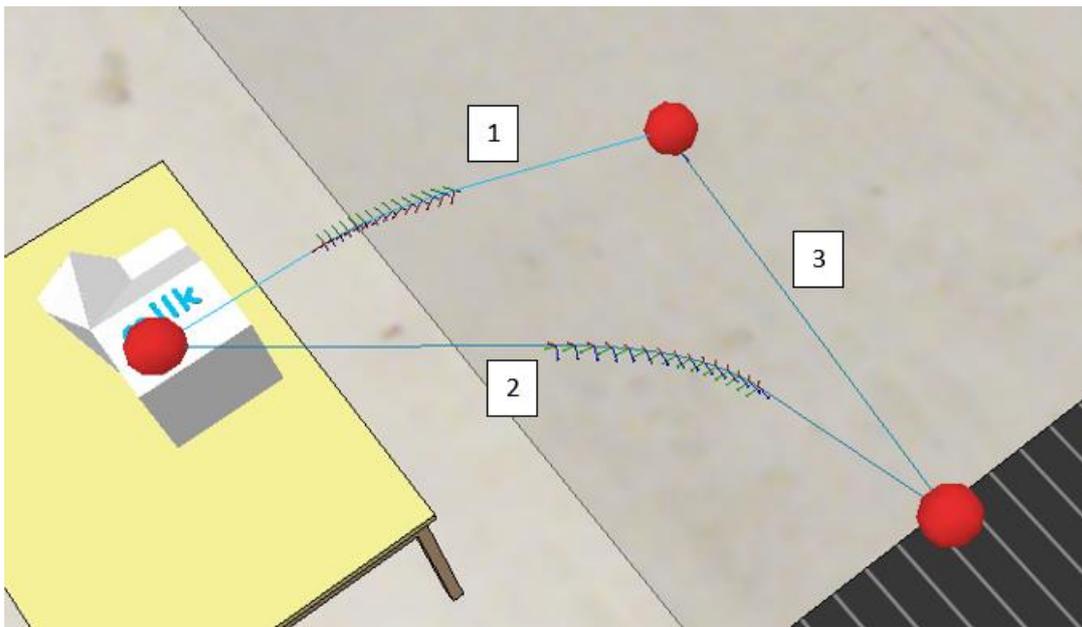


Ilustración 56 Paths Pick and Place

Para empezar, se han creado los tres *path* como se observa en la ilustración 56, de forma que el final de la primera trayectoria es el inicio de la segunda y de igual forma entre la segunda y la tercera trayectoria. De esta forma conseguimos que parezca que el robot únicamente siga una trayectoria.

```
odometry=sim.getObjectHandle('Seguido')
odometry2=sim.getObjectHandle('Tetrabrik')
path1=sim.getObjectHandle('Path0')
pathLength1=sim.getPathLength(path1)
path2=sim.getObjectHandle('Path1')
pathLength2=sim.getPathLength(path2)
path3=sim.getObjectHandle('Path2')
pathLength3=sim.getPathLength(path3)
posOnPath1=0
posOnPath2=0
posOnPath3=0

posOnPath=0
v=0.01
i=0
l=0
l1=0
l2=0
l3=0
```

Ilustración 57 Definición de elementos

Posteriormente, una vez diseñadas las trayectorias, realizamos un código similar al analizado en el apartado anterior.

Como puede verse reflejado en la imagen 57 comenzamos por definir los diferentes *path* y los diferentes *dummies* que vamos a programar. Seguidamente definimos las diferentes variables que utilizaremos en el cuerpo del programa, como son la velocidad de ejecución y los tamaños de las trayectorias.

```

    if(l1<1.3 ) then

posOnPath1=posOnPath1+v*sim.getSimulationTimeStep()

l1 = posOnPath1/pathLength1

position1=sim.getPositionOnPath(path1,l1)
orientation1=snPath(path1,l1)
sim.setObjectPosition(odometry,-1,im.getOrientationO1,position1)
sim.setObjectOrientation(odometry,-1,orientation1)
sim.switchThread()
end
if(l1>1.3 and l2<1.3 ) then

posOnPath2=posOnPath2+v*sim.getSimulationTimeStep()

l2 = posOnPath2/pathLength2|

position2=sim.getPositionOnPath(path2,l2)
orientation2=sim.getOrientationOnPath(path2,l2)
sim.setObjectPosition(odometry,-1,position2)
sim.setObjectOrientation(odometry,-1,orientation2)
sim.setObjectPosition(odometry2,-1,position2)
sim.setObjectOrientation(odometry2,-1,orientation2)
sim.switchThread()
end
if(l2>1.3 ) then

posOnPath3=posOnPath3+v*sim.getSimulationTimeStep()

l3 = posOnPath3/pathLength3

position3=sim.getPositionOnPath(path3,l3)
orientation3=sim.getOrientationOnPath(path3,l3)
sim.setObjectPosition(odometry,-1,position3)
sim.setObjectOrientation(odometry,-1,orientation3)
sim.switchThread()
end

```

Ilustración 58 Código Pick and Place

En el cuerpo del programa encontramos tres partes claramente diferenciadas, de forma que cada una de ellas corresponde a una de las trayectorias comentadas anteriormente.

La primera y la tercera parte son casi iguales debido a que como hemos comentado anteriormente en estas dos trayectorias solo se mueve el robot. Es por ello por lo que en ambos casos se extrae la posición del *path* correspondiente a dicho instante de la simulación y se aplica en el *dummy* seguido, para que el robot se mueva a dicha posición. Sin embargo, en la segunda trayectoria además de escribirlo sobre el *dummy* seguido, también lo escribimos sobre el *dummy* del tetrabrik. Para que el robot y el objeto se muevan conjuntamente, dando la impresión de que el robot este trasladando el objeto.

De esta forma obtenemos el video «Prueba2\_TareaPickAndPlace» donde se aprecia la aplicación pick and place demandada. Gracias a esta simulación quedan completados los objetivos planteados en el trabajo.

## 9 Conclusiones

A lo largo del proyecto nos hemos propuesto diseñar un robot capaz de orientar y posicionar un objeto de forma rápida y precisa para poder realizar la tarea de *Pick and Place*. Para ello en primer término se estudió el modelo del robot delta, concluyendo que era un robot acorde a las necesidades que se planteaban debido a su rapidez y su área de trabajo.

Una vez escogida la estructura del robot, el segundo aspecto que se abordó consistió en el diseño de todos los componentes de dicho robot mediante la herramienta de diseño Solidworks, para ello nos basamos en diseños realizados en estudios anteriores y en diseños de robots comerciales, consiguiendo así un ensamblaje acorde a los objetivos planteados.

Para concluir se trasladó dicho modelo al entorno de simulación V-REP, donde se combinaron las diferentes piezas diseñadas con los diferentes elementos de simulación como bien son las articulaciones o las cadenas cinemáticas. Consiguiendo de esta forma que el robot se pudiese mover como lo haría de forma física, pudiendo además realizar diversas comprobaciones en un entorno controlado.

Como consecuencia, se obtiene cumplimiento del objetivo principal del proyecto, la simulación de un robot capaz de orientar su efector final consiguiendo variar objetos de posición y orientación de forma sencilla.

## 10 Futuros estudios

En el marco de futuros estudios se pretende abordar los siguientes tópicos:

- La construcción del robot de forma física para posibles aplicaciones, esta construcción podría presentar una ayuda para conseguir un diseño más eficaz o incluso solucionar posibles defectos no observados en las simulaciones.
- Desarrollo de una pantalla HMI desde donde poder controlar el robot y poder detectar posibles fallos de funcionamiento.
- La implementación de visión artificial junto al robot, para poder detectar la orientación del objeto y con ello decidir de forma automática la orientación inicial y final de la muñeca. Este aspecto es muy necesario si queremos implementar nuestro robot en una industria ya que podría adaptarse con facilidad a diversas tareas.
- Programación de robots cooperativos, pudiendo utilizar diferentes robots al mismo tiempo para cadenas de producción muy elevadas. Este estudio estaría enfocado especialmente a industrias de alimentación, debido a que las cantidades de producto usualmente son más elevadas y un único robot no puede gestionarlas.

## 11 Bibliografía

- ALEJANDRO LIZA BORJA, 2016. *DESARROLLO DE UN ROBOT DELTA* [en línea]. TRABAJO FIN DE GRADO. Cartagena: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/6639/tfg-liz-des.pdf?sequence=1>.
- AUXCAD, 2008. *Curso basico de modelado con solidworks Parte 3.1* [en línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=WYK7JV0mZfQ>.
- BERTUĞ GÜVEN, 2017. *Delta Robot* [en línea]. CAD. S.l.: s.n. Disponible en: <https://grabcad.com/library/delta-robot-7>.
- Datasheet Hiwonder LX-824 HV. [en línea], [sin fecha]. Datasheet. S.l.: Disponible en: <https://www.hiwonder.hk/products/hiwonder-lx-824-three-connectors-high-voltage-bus-servo>.
- FANUC, 2010. Robot delta M-3iA/6A [en línea]. Disponible en: <https://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%C3%A1gina-filtro-robots/serie-m3/m-3ia-6a>.
- GUDIÑO-LAU, J.A., ALCALÁ-RODRÍGUEZ, J., NARRARRO, H., VELEZ-DÍAZ, D. y CHARRE-IBARRA, S., 2018. Diseño y modelo cinemático de un robot delta para el diagnóstico y rehabilitación. *XIKUA Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan* [en línea], vol. 6, no. 11. [Consulta: 20 junio 2020]. ISSN 2007-4948. DOI 10.29057/xikua.v6i11.2764. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/xikua/article/view/2764>.
- GWINNETT, J.E., 1931. Amusement device [en línea]. US1789680A. [Consulta: 20 junio 2020]. US1789680A. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US1789680A/en>. US309554A
- HONEGGER, M., CODOUREY, M. y BURDET, E., 1987. IEEE International Conference on Robotics and Automation, , pp. 21-28.
- ISMAIL H. SANLITURK, 2012. *Delta Robot2* [en línea]. SOLIDWORKS. S.l.: s.n. Disponible en: <https://grabcad.com/library/delta-robot2>.
- MARCO OLIVEIRA, 2019. *Suction Cup* [en línea]. SOLIDWORKS. S.l.: s.n. Disponible en: <https://grabcad.com/library/suction-cup-7>.
- MERLET, J.P. y GOSSELIN, C., 1991. Mechanism and Machine Theory. , vol. 16, pp. 77-90.
- SEBASTIAN, 2016. *Delta Robot Simulation* [en línea]. Matlab. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=GdA8TRNuJAg>.
- STAIKU, S. y CARP-CIOCARDIA, D.-C., 2003. Dynamic analysis of Clavel's Delta parallel robot. *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*. S.l.: s.n., DOI 10.1109/ROBOT.2003.1242230.
- YAHIR JIMI MORTACERO CUBA, 2019. *JUNTA DE CARDAN* [en línea]. SOLIDWORKS. S.l.: s.n. Disponible en: <https://grabcad.com/library/junta-de-cardan-1>.

YULIYA SMIRNOVA, 2019. *Delta-robot kinematic* [en línea]. Matlab. S.l.: s.n. Disponible en:  
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/71119-delta-robot-kinematic>.

ZABALZA, I., ROS, J., GIL, J.J., PINTOR, J.M. y JIMENEZ, J.M., 2002. *A new kinematic Structure for a 6-dof decoupled parallel manipulator*. 2002. S.l.: s.n.

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

---

### Anejo A-1

### Código programación

# Diseño y desarrollo de un robot delta de seis ejes de bajo coste

Trabajo final de grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Autor: Carlos Moreno Sanz

Tutor: Leopoldo Armesto Ángel

Curso académico 2019-2020

```

path=sim.getObjectHandle('Path')
pathLength=sim.getPathLength(path)
odometry=sim.getObjectHandle('Seguido')
odometry2=sim.getObjectHandle('Tetrabrick')
path1=sim.getObjectHandle('Path0')
pathLength1=sim.getPathLength(path1)
path2=sim.getObjectHandle('Path1')
pathLength2=sim.getPathLength(path2)
path3=sim.getObjectHandle('Path2')
pathLength3=sim.getPathLength(path3)
posOnPath1=0
posOnPath2=0
posOnPath3=0
posOnPath=0
v=0.01
i=0
l=0
l1=0
l2=0
l3=0

while true do
--Trayectoria demostración
  if(l<1.05) then
    posOnPath=posOnPath+v*sim.getSimulationTimeStep()
    while(i<200) do
      i=i+1
      l = posOnPath/pathLength
      position=sim.getPositionOnPath(path,l)
      orientation=sim.getOrientationOnPath(path,l)

      sim.setObjectPosition(odometry,-1,position)
      sim.setObjectOrientation(odometry,-1,orientation)
    end
  end
end

```

```

l = posOnPath/pathLength
position=sim.getPositionOnPath(path,l)
orientation=sim.getOrientationOnPath(path,l)
sim.setObjectPosition(odometry,-1,position)
sim.setObjectOrientation(odometry,-1,orientation)
sim.switchThread()
end
--Ir al objeto
  if(l>1.05 and l<1.3 ) then
    posOnPath1=posOnPath1+v*sim.getSimulationTimeStep()
    l1 = posOnPath1/pathLength1
    position1=sim.getPositionOnPath(path1,l1)
    orientation1=sim.getOrientationOnPath(path1,l1)
    sim.setObjectPosition(odometry,-1,position1)
    sim.setObjectOrientation(odometry,-1,orientation1)
    sim.switchThread()
  end
--Trasladar el objeto
if(l1>1.3 and l2<1.3 ) then
  posOnPath2=posOnPath2+v*sim.getSimulationTimeStep()
  l2 = posOnPath2/pathLength2
  position2=sim.getPositionOnPath(path2,l2)
  orientation2=sim.getOrientationOnPath(path2,l2)
  sim.setObjectPosition(odometry,-1,position2)
  sim.setObjectOrientation(odometry,-1,orientation2)
  sim.setObjectPosition(odometry2,-1,position2)
  sim.setObjectOrientation(odometry2,-1,orientation2)
  sim.switchThread()
end

```

--Ir a posición de equilibrio

```
if(l2>1.3 ) then
```

```
    posOnPath3=posOnPath3+v*sim.getSimulationTimeStep()
```

```
    l3 = posOnPath3/pathLength3
```

```
    position3=sim.getPositionOnPath(path3,l3)
```

```
    orientation3=sim.getOrientationOnPath(path3,l3)
```

```
    sim.setObjectPosition(odometry,-1,position3)
```

```
    sim.setObjectOrientation(odometry,-1,orientation3)
```

```
    sim.switchThread()
```

```
end
```

```
end
```



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño**

---

Anejo A-2

Datasheets

**Diseño y desarrollo de un robot  
delta de seis ejes de bajo coste**

Trabajo final de grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Autor: Carlos Moreno Sanz

Tutor: Leopoldo Armesto Ángel

Curso académico 2019-2020

# Datasheet Hiwonder LX-824 HV

Item	Hiwonder LX-824 HV Three Connectors High Voltage Bus Servo
Weight	57g (LX-824HV)
Dimension	40.00mm*20.14mm*51.10mm(1.57inch*0.8inch*2.02inch)
Speed	0.20sec/60°(11.1V)
Accuracy	0.3°
Torque	17kg.cm/11.1V(LX-824HV)
Working Voltage	9-12.6V
Nominal Voltage	11.1V
Stall Current	1.7~2 <sup>a</sup>
Cornor Range Control	0~1000 correspond to 0°~240°
Serial Command Control Method	serial command
Communication Baud Rate	115200
Servo ID	0~253,user configurable,default ID 1
Data Feedback	Temperature; voltage; location
Save Setting	Save data when the power off
Features Stall protection	Overheat Protection
Default Wire	20cm(7.9inch) in length
LX-824 HV Servo Package List	1* LX-824 HV bus servo 1* 20cm servo wire 1* primary servo horn(4mm/0.157in thick) 1* assistant servo horn(2mm/0.078in thick) 15* M2*5 self-tapping screws 2* primary assistant screws

### 1. 使用環境條件

Apply Environmental Condition :

No.	項目 item	規格 standard
1-1	保存溫度 Storage Temperature Range	-20℃ ~ 60℃
1-2	操作溫度 Operating Temperature Range	-10℃ ~ 50℃
1-3	操作電壓 Operating Voltage Range	4.8V ~ 6.0V

### 2. 測試環境

Standard Test Environment :

2-1	測試環境 Standard Test Environment	<p>每一个检查必须是正常的温度和湿度进行测量，温度 <math>25 \pm 5^\circ\text{C}</math>，相对湿度 <math>65 \pm 10\%</math>，在按照本规范的标准测试条件下判断特征。</p> <p>Every characteristic of the inspect must be normal temperature and humidity carry out the test , temperature <math>25 \pm 5^\circ\text{C}</math> and relative humidity <math>65 \pm 10\%</math> of judgment made in accordance with this specification standard testing conditions.</p>
-----	-----------------------------------	---

### 3. 外觀檢查

Appearance Inspection :

No.	項目 item	規格 standard
3-1	外觀尺寸 Outline Drawing	40.5 x 20.0 x 38.0 (mm)
3-2	外觀 Appearance	无损坏，不允许影响功能

#### 4. 電氣特性

Electrical Specification (Function of the Performance) :

No.	Item	4.8V	6.0V
4-1	空載轉速 Operating speed (at no load)	0.14 sec/60°	0.12 sec/60°
4-2	空載電流 Running current (at no load)	250 mA	300 mA
4-3	停止扭力 Stall torque (at locked)	3.5 kg-cm,	4.4 kg-cm
4-4	停止電流 Stall current (at locked)	1600mA	1800mA
4-5	待機電流 Idle current (at stopped)	4 mA	5 mA

注：項目 4-2 定义平均值时，伺服器无负荷运行

#### 5. 機械特性

Mechanical Specification :

No.	項目 item	規格 standard
5-1	外觀尺寸 Overall Dimensions	40.5 x 20.0 x 38.0
5-2	機構極限角度 Limit angle	∞°
5-3	重量 Weight	36 ± 2 g
5-4	導線規格 Connector wire gauge	# 28 PVC
5-5	導線長度 Connector wire length	300 ± 5 mm
5-6	舵片規格 Horn gear spline	25T/ φ 5.80
5-7	舵片種類 Horn type	圓盤 X 2
5-8	減速比 Reduction ratio	193: 1



Product Name  
**360° Analog Servo**

Model No.  
**AR3603HB**

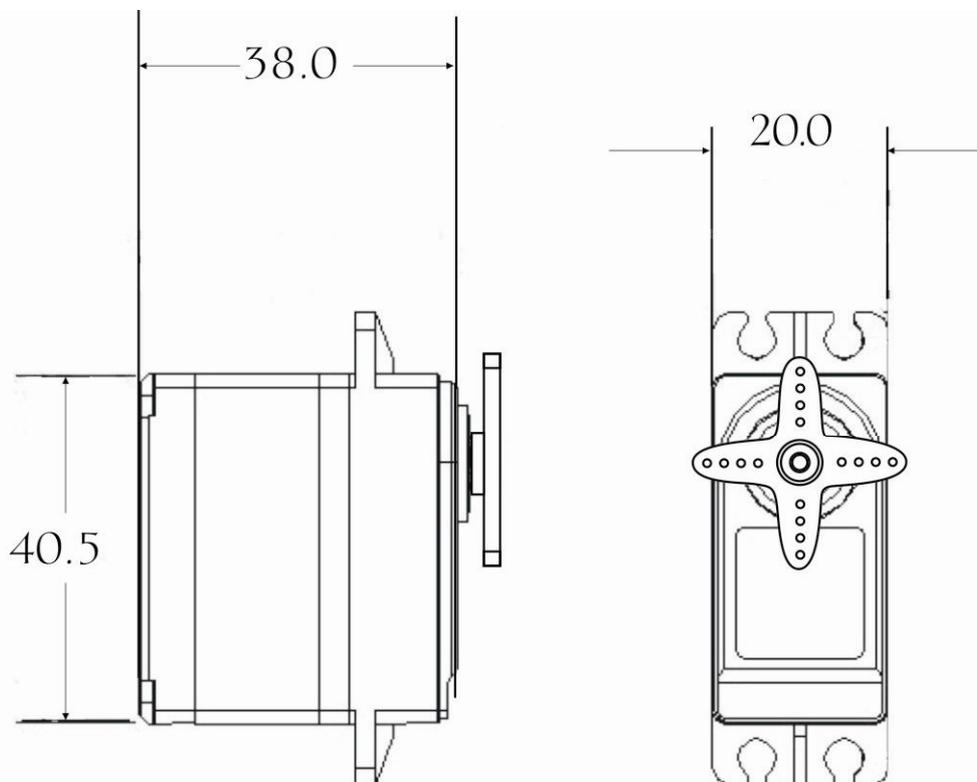
Version  
**V1**

Page  
**2/3**

## 6. 控制特性

Control Specification :

No.	項目 item	规格 standard
6-1	控制系統 Control system	改变脉冲宽度 PWM
6-2	放大器種類 Amplifier type	模拟控制器 Analog Controller
6-3	操作角度 Operating travel	360° (在 800→2200 $\mu$ sec)
6-4	中立位置 Neutral position	1500 $\mu$ sec
6-5	脈波訊號虛位 Dead band width	5 $\mu$ sec
6-6	旋轉方向 Rotating direction	逆时针 (在 1500→2000 $\mu$ sec) Counterclockwise (when 1500→2000 $\mu$ sec)
6-7	脈波寬度範圍 Pulse width range	800→2200 $\mu$ sec
6-8	可作動角度範圍 Maximum travel	大约 360°(在 800→2200 $\mu$ sec)



Product Name  
**360° Analog Servo**

Model No.  
**AR3603HB**

Version  
**V1**

Page  
**3/3**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

---

Documento número 2:

Planos

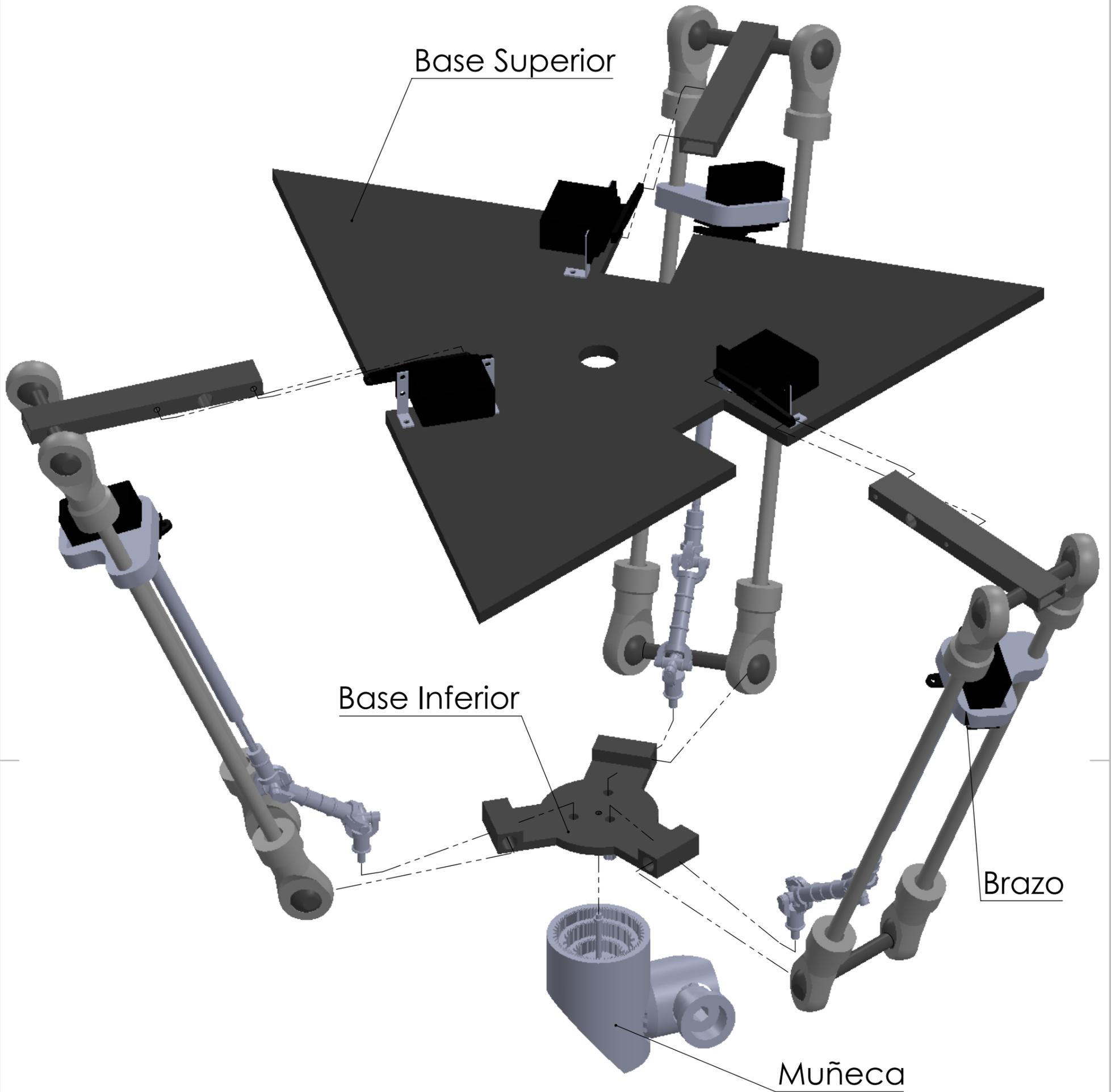
# Diseño y desarrollo de un robot delta de seis ejes de bajo coste

Trabajo final de grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Autor: Carlos Moreno Sanz

Tutor: Leopoldo Armesto Ángel

Curso académico 2019-2020



Subconjunto	Cantidad
Base Superior	1
Brazo	3
Base Inferior	1
Muñeca	1

FIRMA:  
Carlos Moreno Sanz

ESCUELA:  
  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD:  
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

NOMBRE DEL PROYECTO:  
Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino

TIPO DE DOCUMENTO:  
Dibujo explotado

TÍTULO:  
Robot delta de seis ejes

MATERIAL:  
ABS UNE-EN ISO 15015 / Aluminio/ Madera

REFERENCIA:  
151121

ESCALA:  
1:2

Formato:  
A3

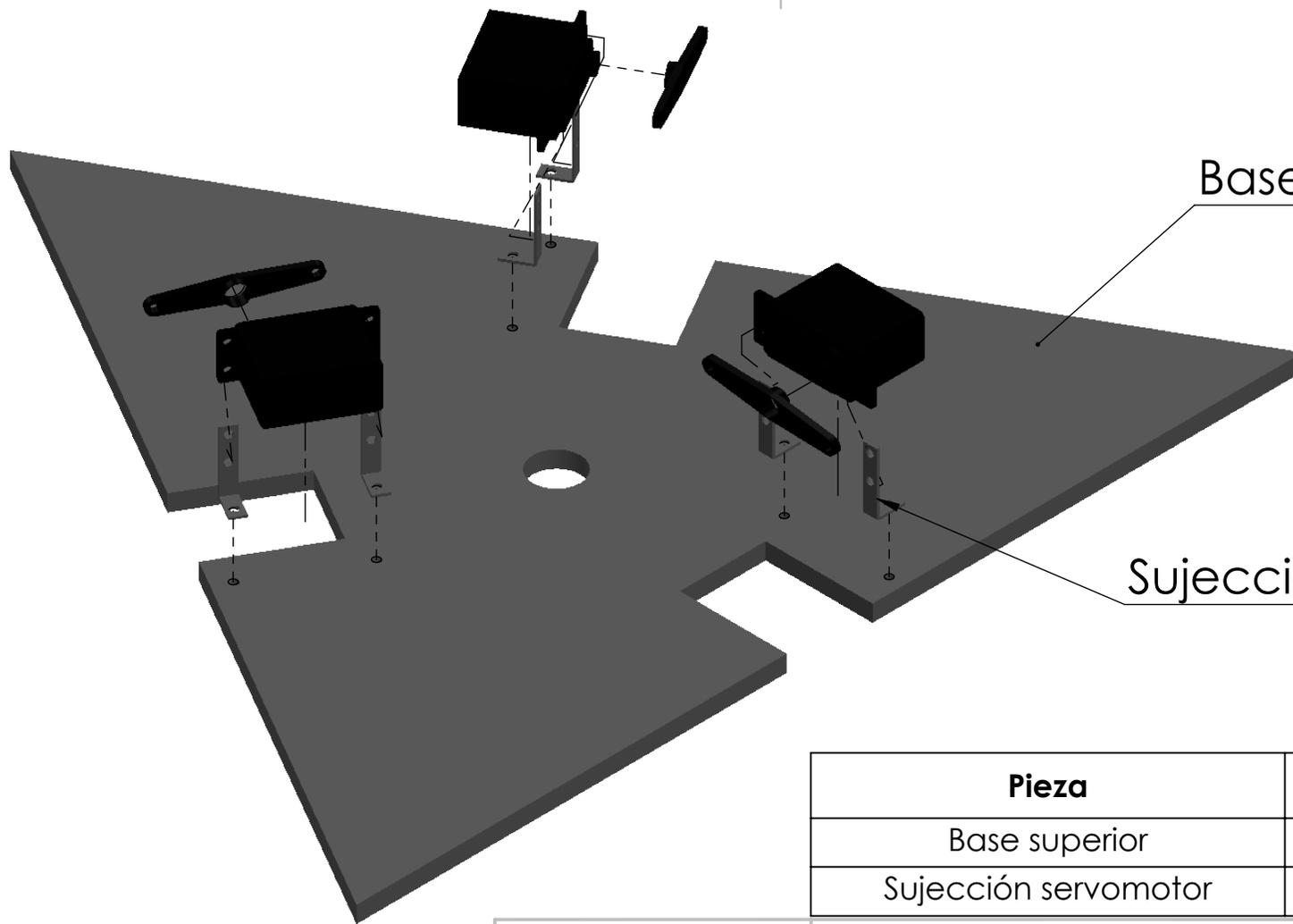
FECHA DE EDICIÓN:  
09/06/20

ORIENTACIÓN:  


REVISIÓN:  
A

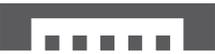
Nº PLANO:  
0

HOJA:  
1/1



Pieza	Material	Cantidad
Base superior	Madera	1
Sujección servomotor	Aluminio	6

FIRMA:  
Carlos Moreno Sanz

ESCUELA:  
  
 Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD:  
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

NOMBRE DEL PROYECTO:  
Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino

TIPO DE DOCUMENTO:  
Dibujo explosionado

TÍTULO:  
Parte superior robot

MATERIAL:  
Madera/Aluminio

REFERENCIA:  
151118-1

ESCALA:  
1:2

Formato:  
A4

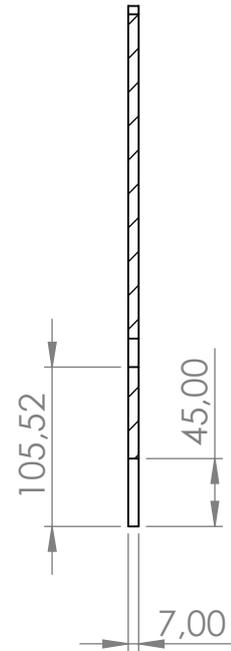
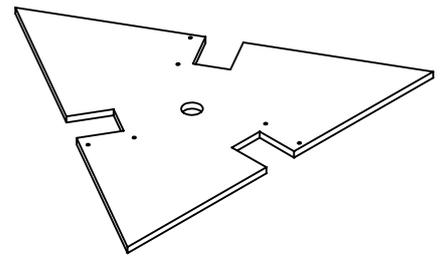
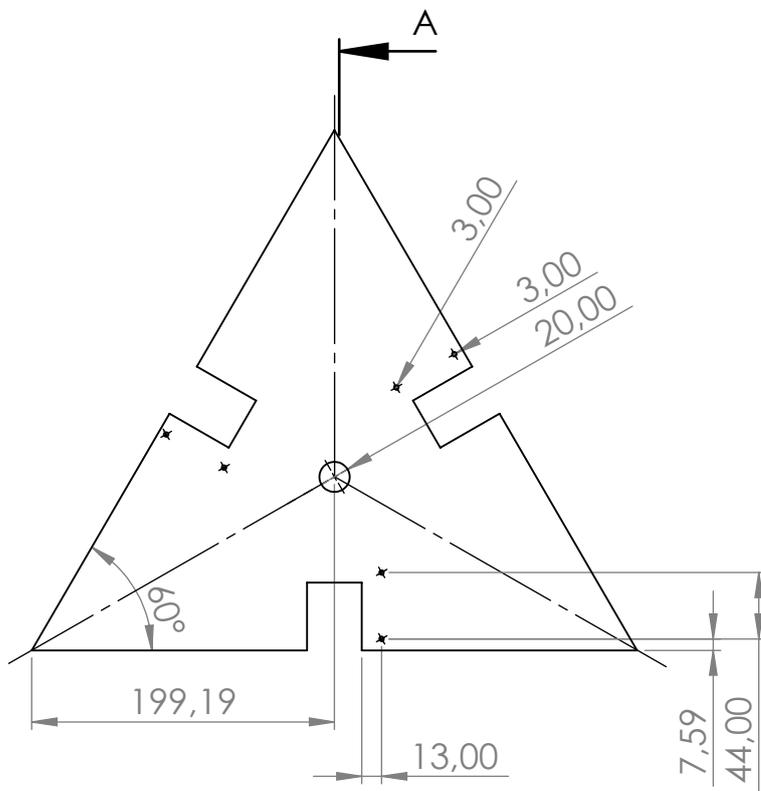
FECHA DE EDICIÓN:  
09/06/20

ORIENTACIÓN:  

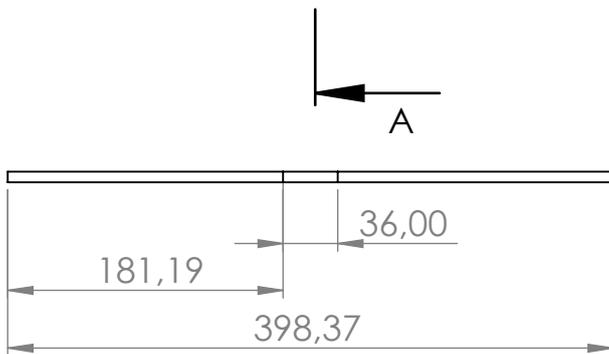

REVISIÓN:  
A

Nº PLANO:  
1

HOJA:  
1/1



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 5



\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
\*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>Madera</b>	
ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: <b>Dibujo de subconjunto</b>	REFERENCIA: <b>21197-1</b>	ORIENTACIÓN: 
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Base superior</b>	ESCALA: <b>1:5</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>1.1</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>09/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

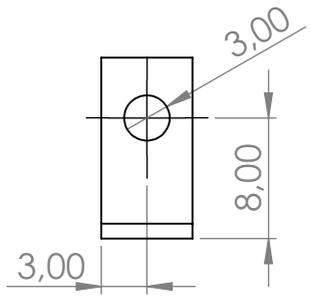
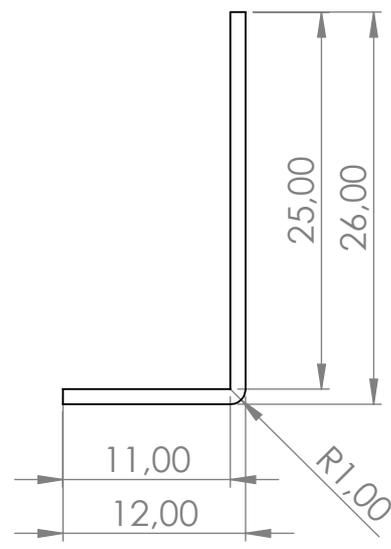
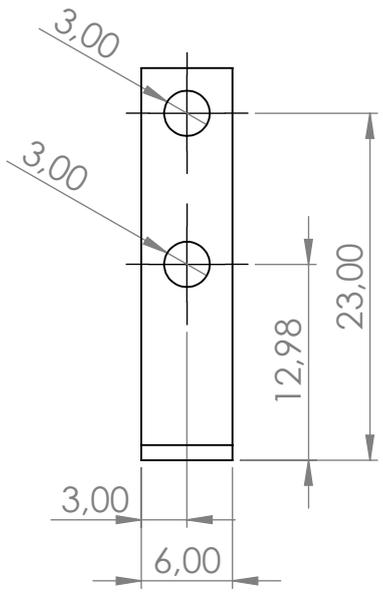
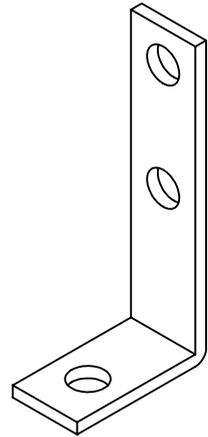
C

B

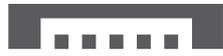
B

A

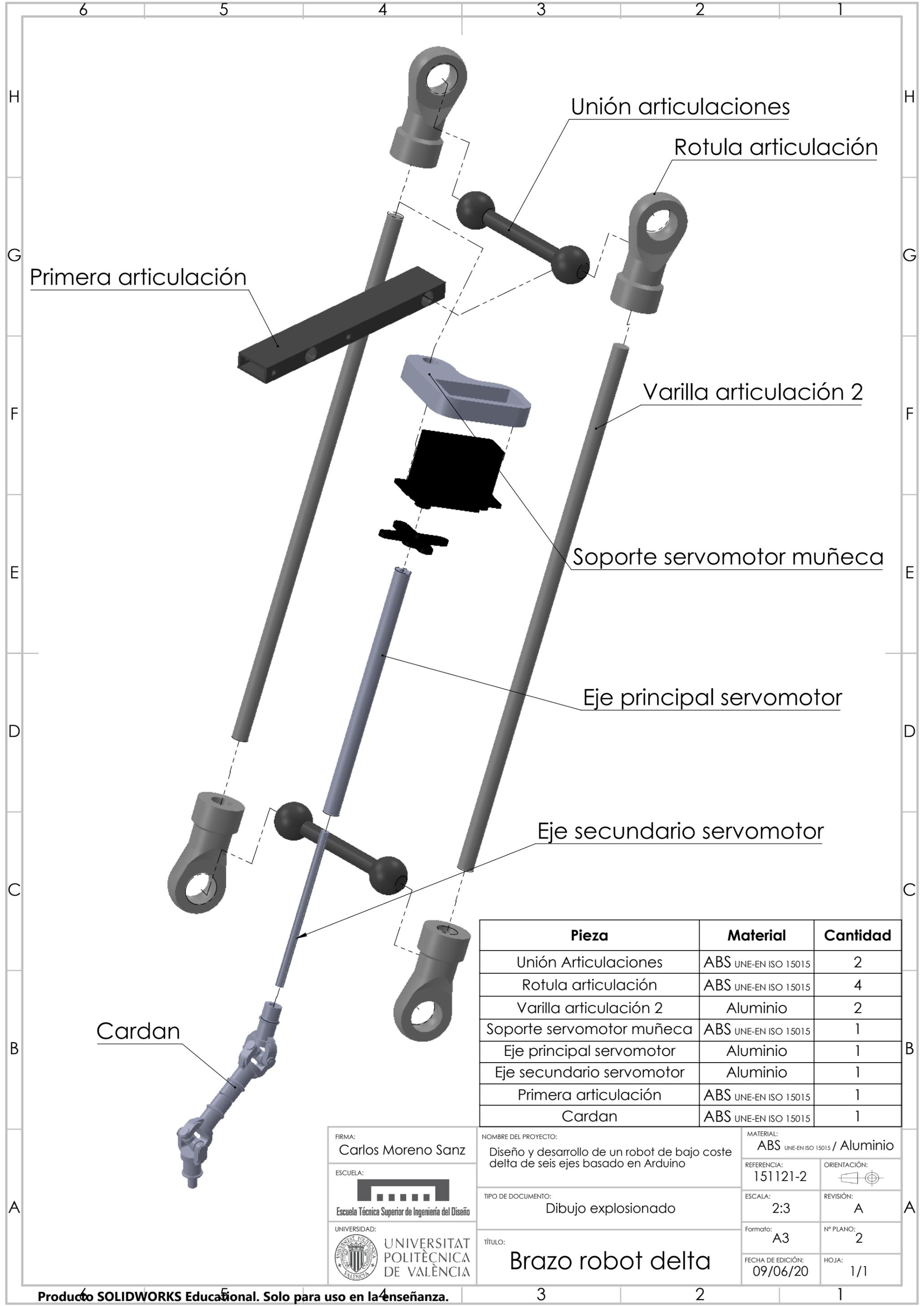
A



\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>Aluminio</b>	
ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: Dibujo de subconjunto	REFERENCIA: <b>151119-2</b>	ORIENTACIÓN: 
UNIVERSIDAD:  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO: <b>Sujección servomotor</b>	ESCALA: <b>2:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>1.2</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>09/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>

4 3 2 1



Pieza	Material	Cantidad
Unión Articulaciones	ABS UNE-EN ISO 15015	2
Rotula articulación	ABS UNE-EN ISO 15015	4
Varilla articulación 2	Aluminio	2
Soporte servomotor muñeca	ABS UNE-EN ISO 15015	1
Eje principal servomotor	Aluminio	1
Eje secundario servomotor	Aluminio	1
Primera articulación	ABS UNE-EN ISO 15015	1
Cardan	ABS UNE-EN ISO 15015	1

FIRMA:  
Carlos Moreno Sanz

ESCUELA:  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD:  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

NOMBRE DEL PROYECTO:  
Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino

TIPO DE DOCUMENTO:  
Dibujo explotado

TÍTULO:  
Brazo robot delta

MATERIAL:  
ABS UNE-EN ISO 15015 / Aluminio

REFERENCIA:  
151121-2

ESCALA:  
2:3

Formato:  
A3

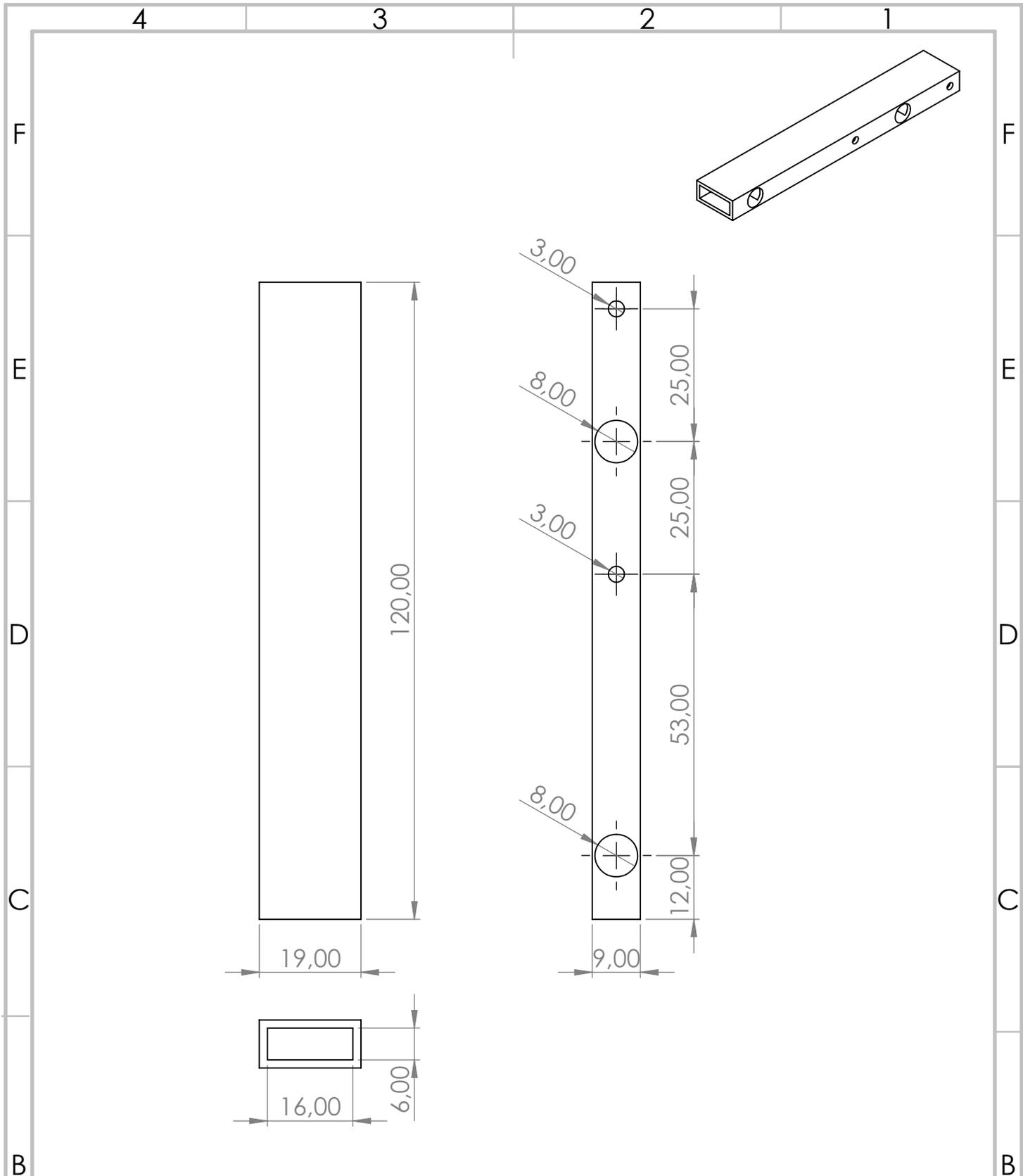
FECHA DE EDICIÓN:  
09/06/20

ORIENTACIÓN:

REVISIÓN:  
A

Nº PLANO:  
2

HOJA:  
1/1



\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: <b>Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino</b>	MATERIAL: <b>ABS</b> <small>UNE-EN ISO 15015</small>	
ESCUELA:  <b>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</b>	TIPO DE DOCUMENTO: <b>Dibujo de subconjunto</b>	REFERENCIA: <b>151119-3</b>	ORIENTACIÓN: 
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Primera articulación</b>	ESCALA: <b>1:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>2.1</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>09/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>

4 3 2 1

F

E

D

C

B

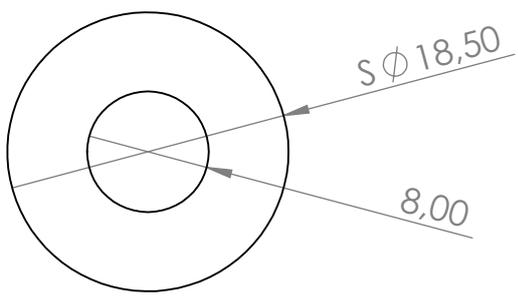
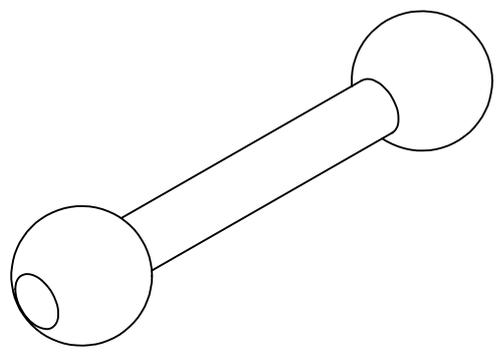
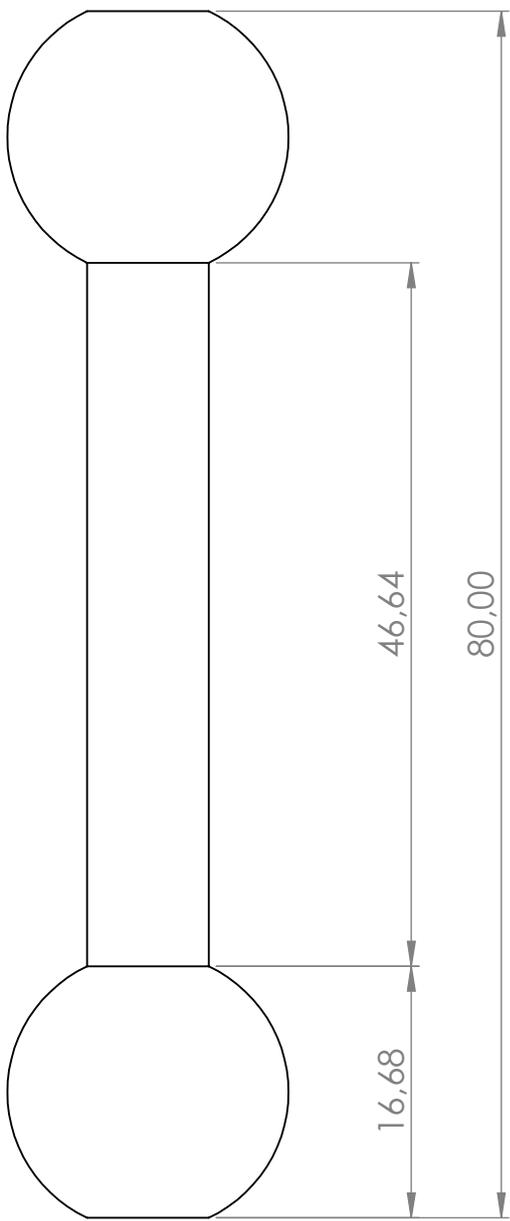
F

E

D

C

B



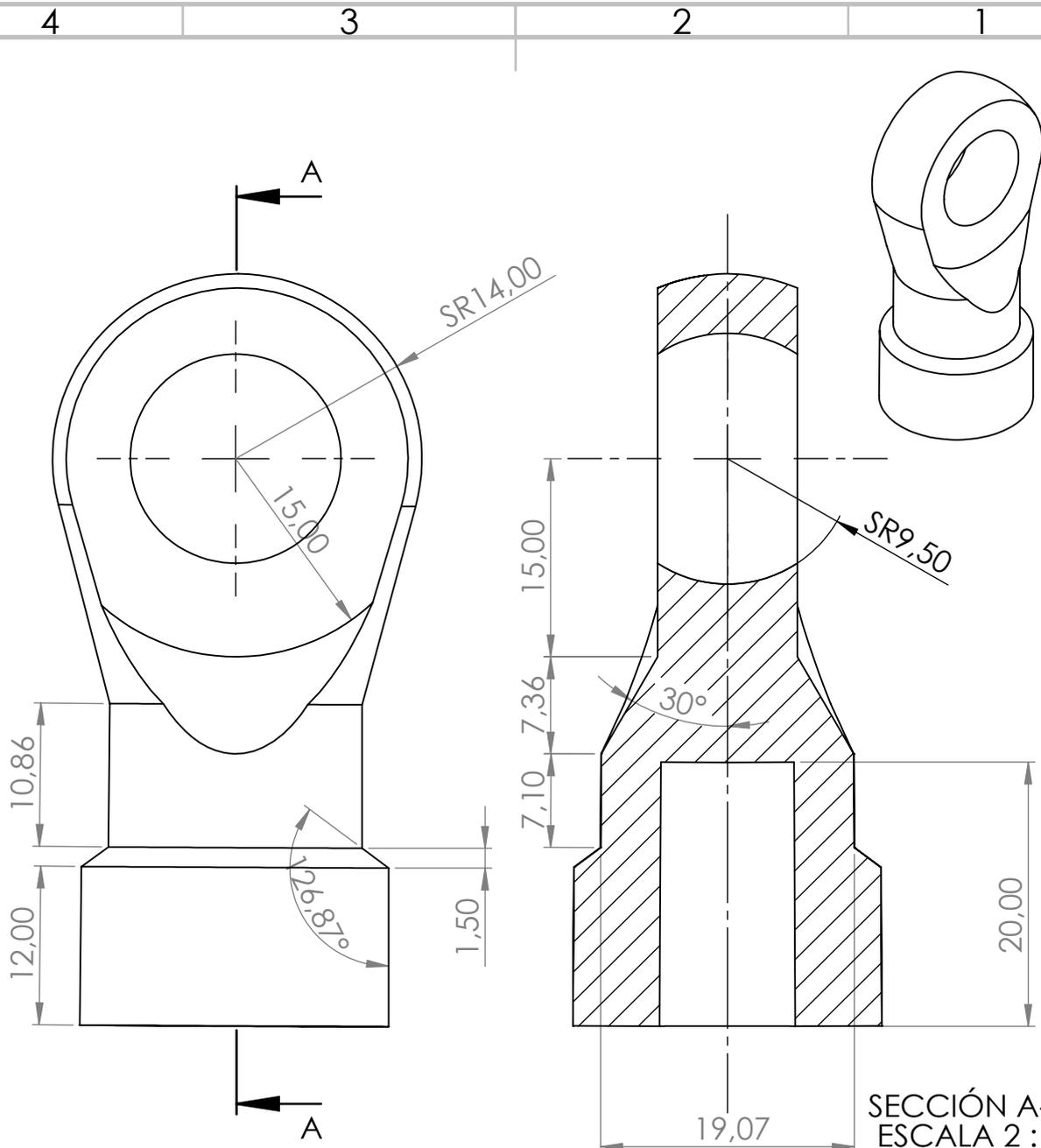
\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>ABS</b> UNE-EN ISO 15015	
	ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: Dibujo de subconjunto	REFERENCIA: <b>151119-5</b>
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Unión Articulaciones</b>	ESCALA: <b>2:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>2.2</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>09/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>

A

A

4 3 2 1



\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>ABS</b> <small>UNE-EN ISO 15015</small>	
	ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: Dibujo de subconjunto	REFERENCIA: <b>151119-4</b>
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Rotula articulación</b>	ESCALA: <b>2:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>2.3</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>09/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>

4 3 2 1

F

F

E

E

D

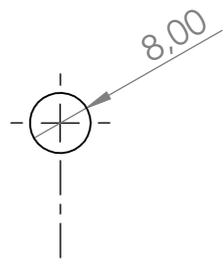
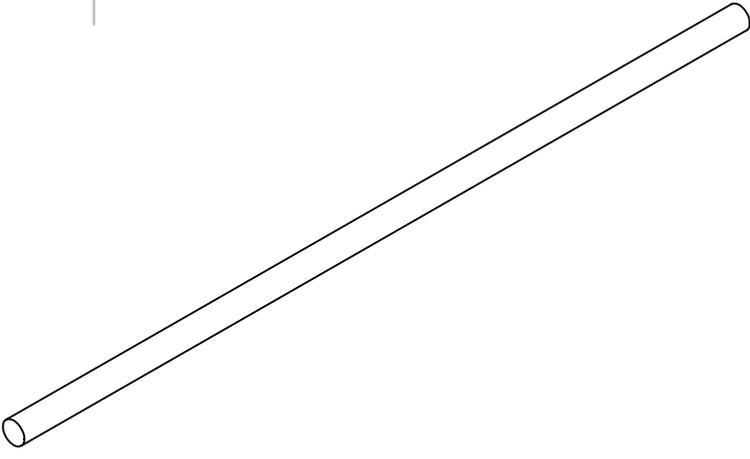
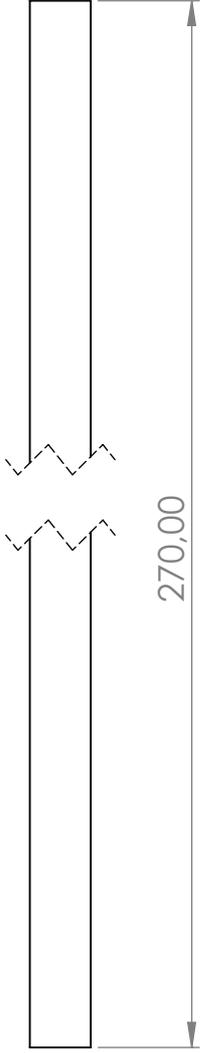
D

C

C

B

B



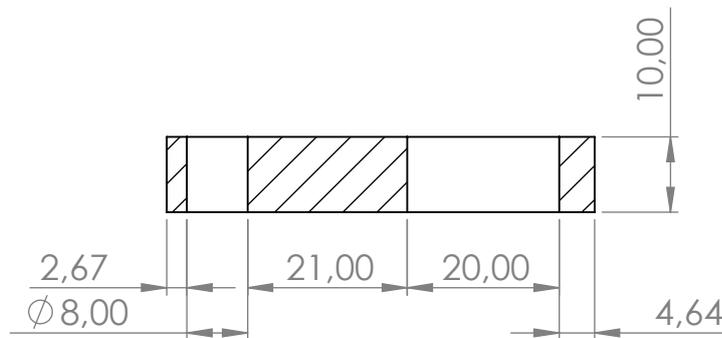
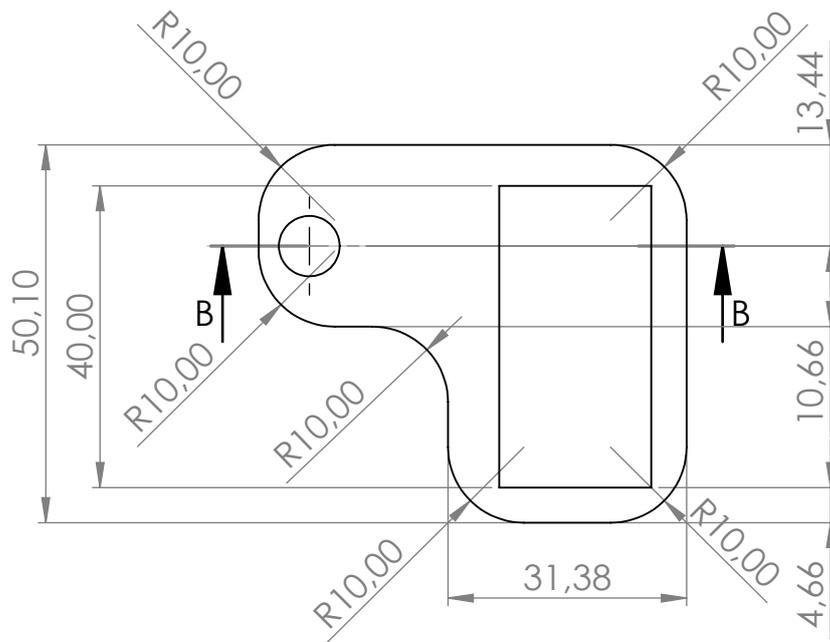
\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>Aluminio</b>	
		REFERENCIA: <b>151119-6</b>	ORIENTACIÓN: 
ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: <b>Dibujo de subconjunto</b>	ESCALA: <b>1:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		UNIVERSIDAD:  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO: <b>Varilla articulación 2</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>09/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>

A

A

4 3 2 1



\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: <b>Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino</b>	MATERIAL: <b>ABS</b> <small>UNE-EN ISO 15015</small>	
ESCUELA:  <b>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</b>	TIPO DE DOCUMENTO: <b>Dibujo de subconjunto</b>	REFERENCIA: <b>151119-7</b>	ORIENTACIÓN: 
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Soporte servomotor muñeca</b>	ESCALA: <b>1:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>2.5</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>09/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>

4 3 2 1

F

F

E

E

D

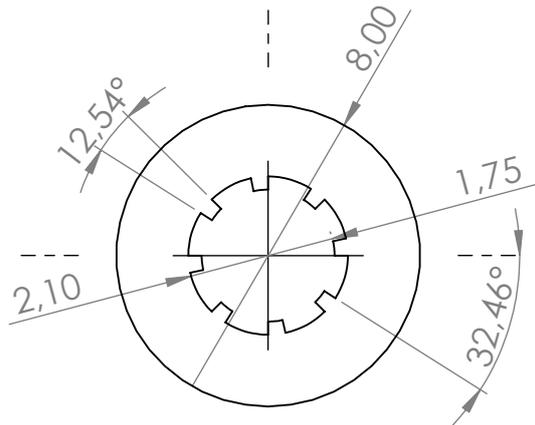
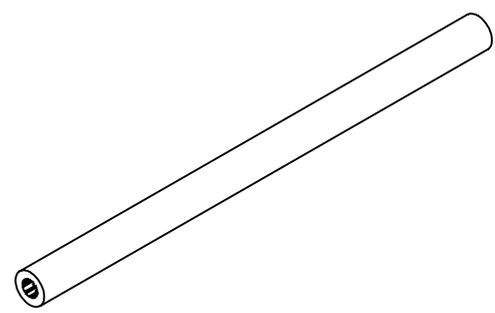
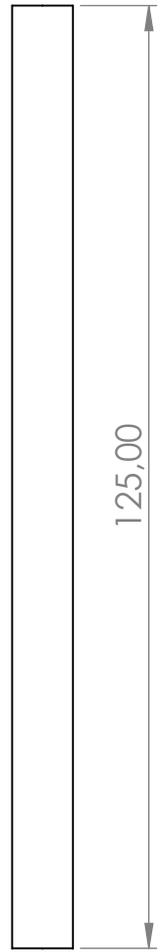
D

C

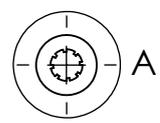
C

B

B



DETALLE A  
ESCALA 5 : 1



\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>Aluminio</b>	
	ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: <b>Dibujo de subconjunto</b>	REFERENCIA: <b>151119-7</b>
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Eje principal servomotor</b>	ESCALA: <b>1:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>2.6</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>09/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>

A

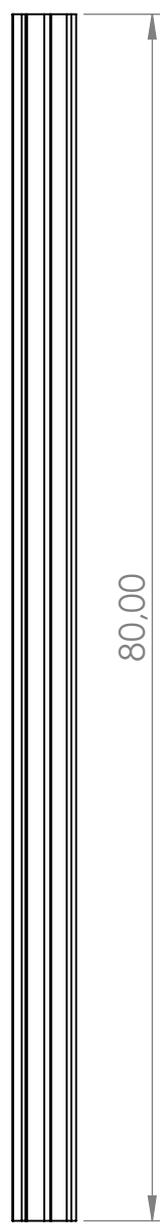
A

4 3 2 1

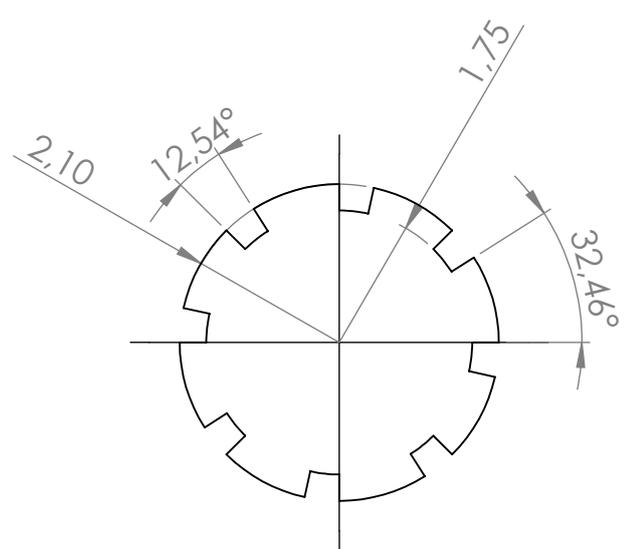
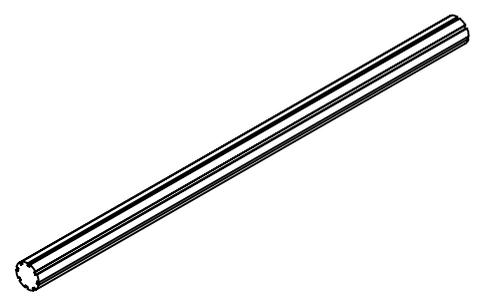
4 3 2 1

F  
E  
D  
C  
B

F  
E  
D  
C  
B



80,00

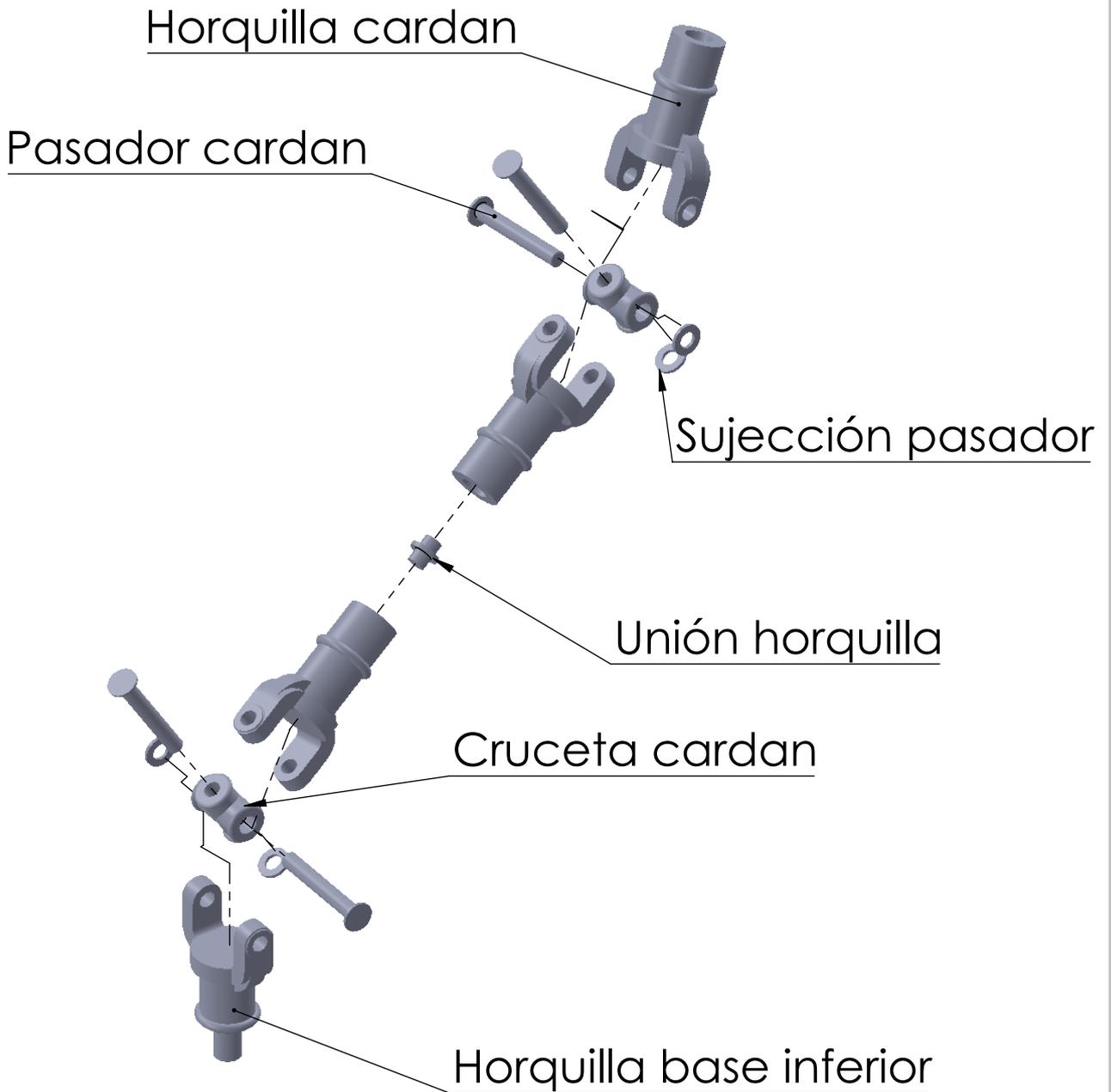


DETALLE A  
ESCALA 10 : 1

\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>Aluminio</b>	
	ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: Dibujo de subconjunto	REFERENCIA: <b>151119-8</b>
UNIVERSIDAD:  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO: <b>Eje secundario servomotor</b>	ESCALA: <b>2:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>2.7</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>09/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>

4 3 2 1



Pieza	Material	Cantidad
Horquilla cardan	ABS UNE-EN ISO 15015	3
Cruceta cardan	ABS UNE-EN ISO 15015	2
Unión horquilla	ABS UNE-EN ISO 15015	1
Horquilla base inferior	ABS UNE-EN ISO 15015	1
Pasador cardan	ABS UNE-EN ISO 15015	4
Sujección pasador	ABS UNE-EN ISO 15015	4

FIRMA:

Carlos Moreno Sanz

ESCUELA:



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD:



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

NOMBRE DEL PROYECTO:

Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino

TIPO DE DOCUMENTO:

Dibujo explosionado

TÍTULO:

Sistema de cardan

MATERIAL:

ABS UNE-EN ISO 15015

REFERENCIA:

151121-3

ORIENTACIÓN:



ESCALA:

1:1

REVISIÓN:

A

Formato:

A4

Nº PLANO:

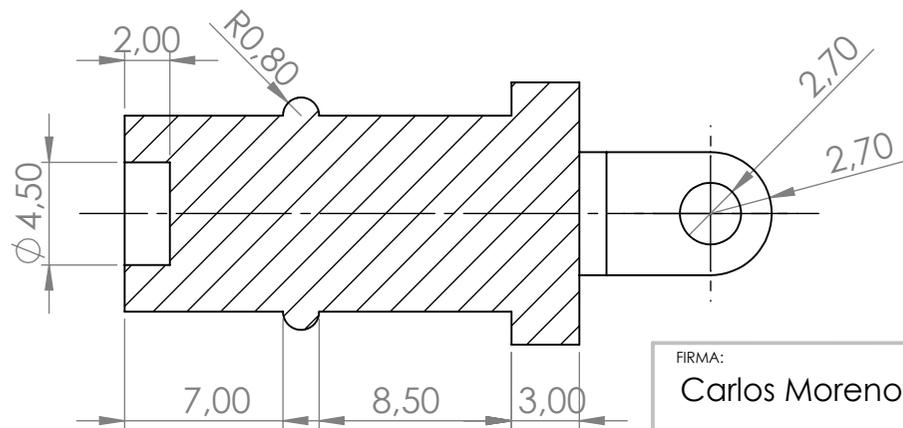
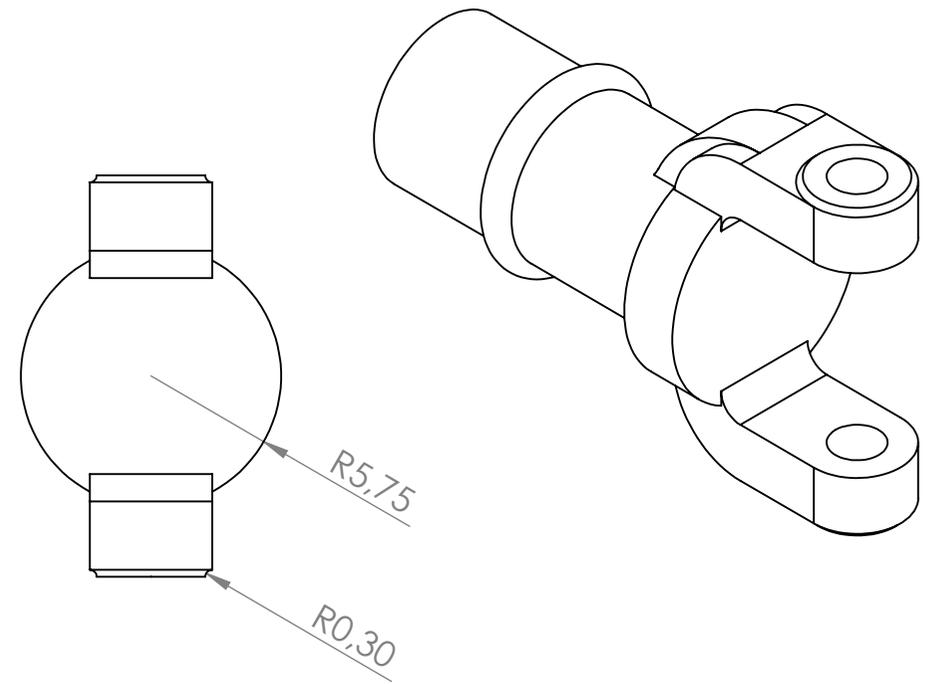
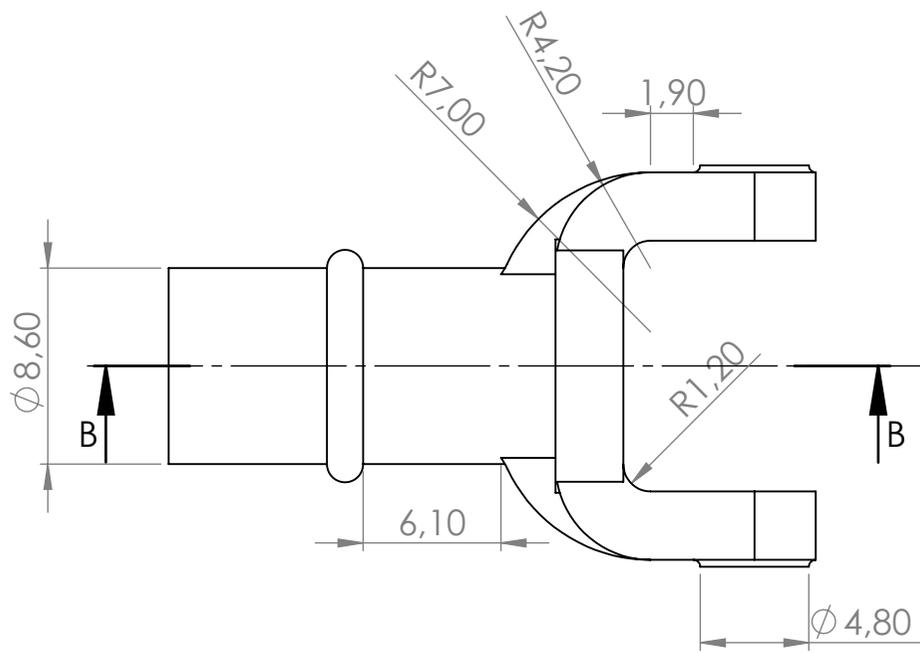
2.8

FECHA DE EDICIÓN:

09/06/20

HOJA:

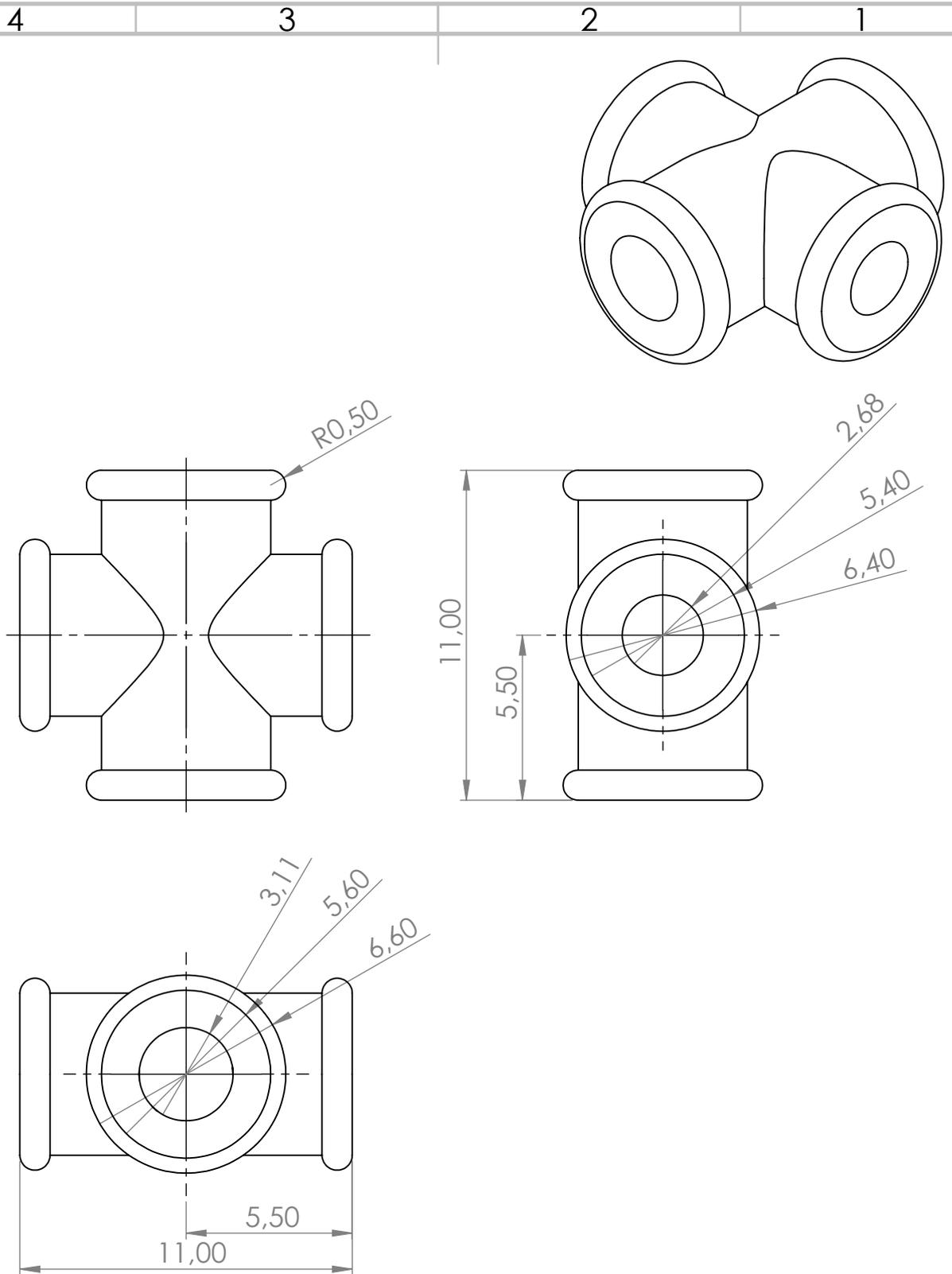
1/1



SECCIÓN B-B  
ESCALA 3 : 1

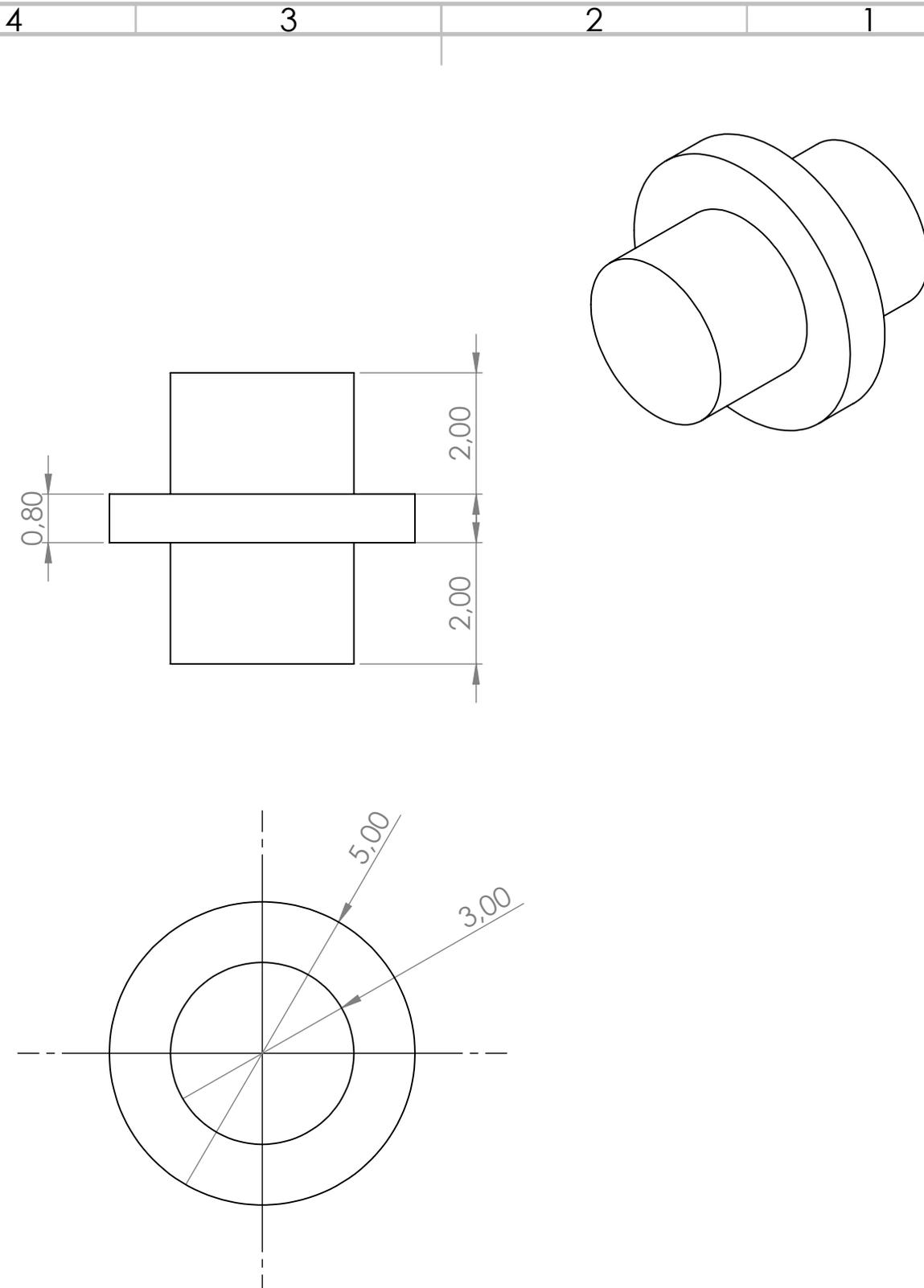
\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>ABS</b> UNE-EN ISO 15015	
ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: Dibujo de subconjunto	REFERENCIA: <b>151118-1</b>	ORIENTACIÓN: 
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Horquilla cardan</b>	ESCALA: <b>3:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>2.8.1</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>09/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>



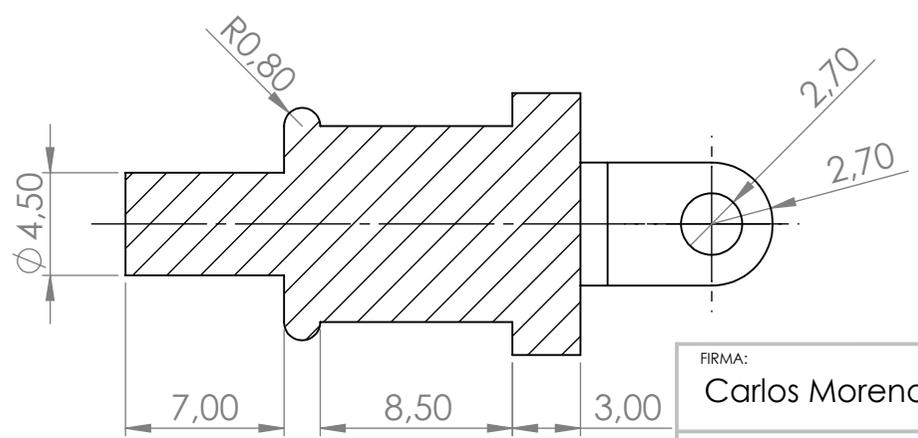
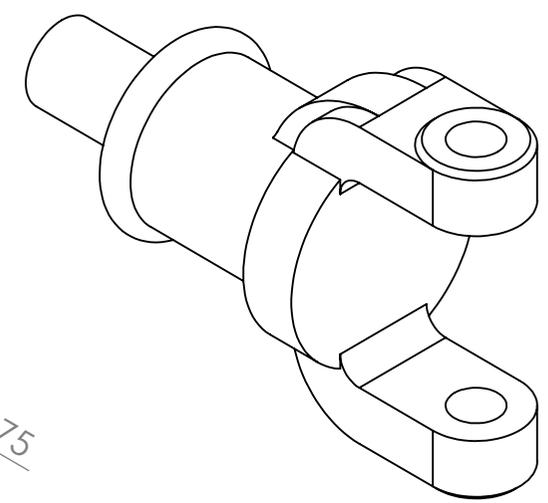
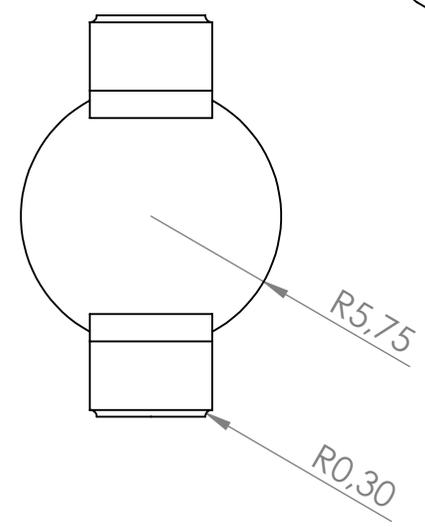
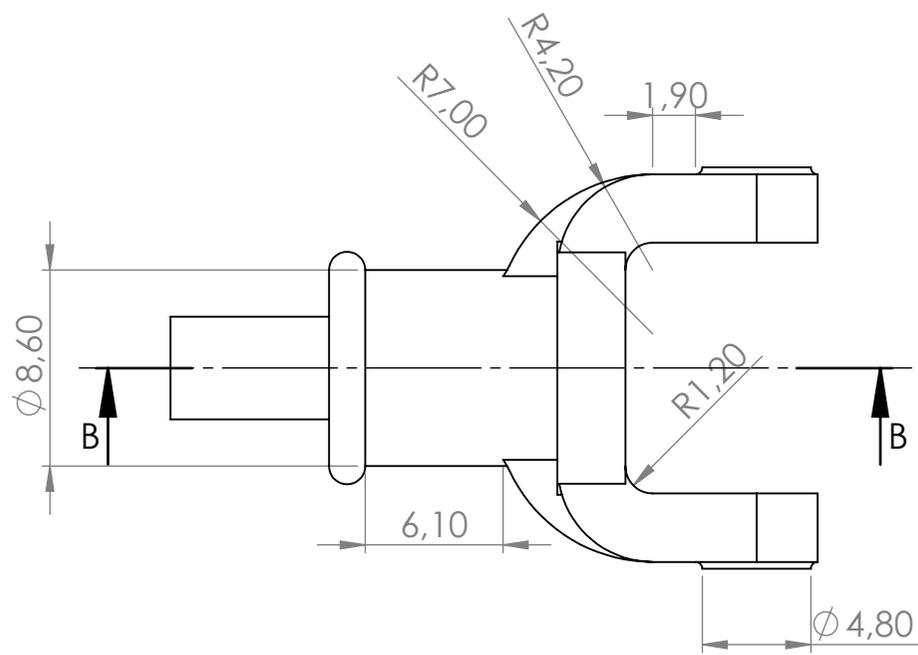
\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: <b>Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino</b>	MATERIAL: <b>ABS</b> <small>UNE-EN ISO 15015</small>	
ESCUELA:  <b>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</b>	TIPO DE DOCUMENTO: <b>Dibujo de subconjunto</b>	REFERENCIA: <b>151118-2</b>	ORIENTACIÓN: 
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Cruceta cardan</b>	ESCALA: <b>5:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>2.8.2</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>09/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>



\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>ABS</b> UNE-EN ISO 15015	
	ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: Dibujo de subconjunto	REFERENCIA: <b>151118-3</b>
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Unión horquilla</b>	ESCALA: <b>10:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	N° PLANO: <b>2.8.3</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>09/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>



SECCIÓN B-B  
ESCALA 3 : 1

\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>ABS</b> UNE-EN ISO 15015	
	ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: Dibujo de subconjunto	REFERENCIA: <b>151118-4</b>
UNIVERSIDAD:  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	TÍTULO: <b>Horquilla base inferior</b>	ESCALA: <b>3:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>2.8.4</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>09/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>

4 3 2 1

F

F

E

E

D

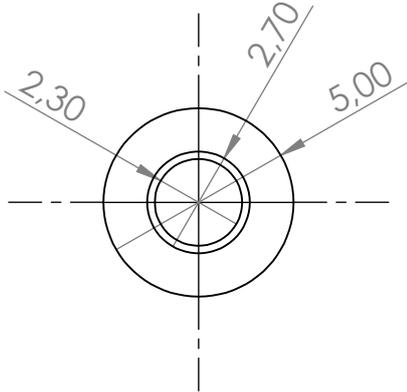
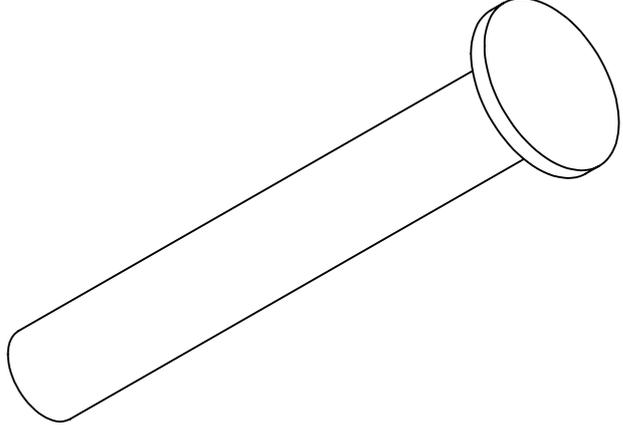
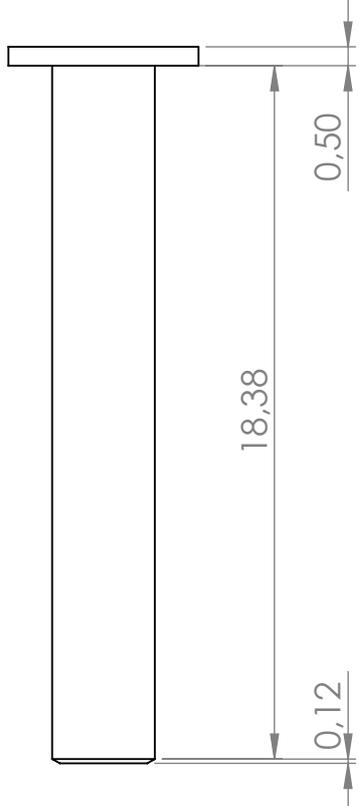
D

C

C

B

B



\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>ABS</b> UNE-EN ISO 15015	
	ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: Dibujo de subconjunto	REFERENCIA: <b>151118-5</b>
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Pasador cardan</b>	ESCALA: <b>5:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>2.8.5</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>09/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>

A

A

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

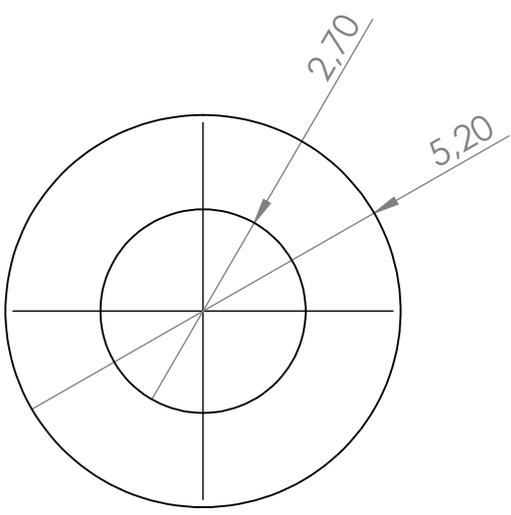
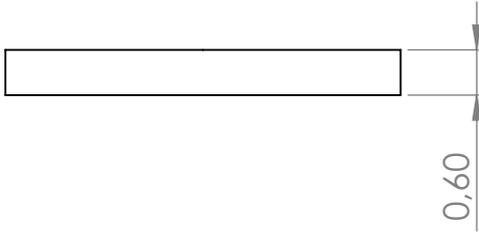
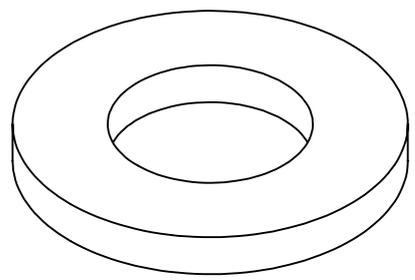
D

C

C

B

B



\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>ABS</b> <small>UNE-EN ISO 15015</small>	
	ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: Dibujo de subconjunto	REFERENCIA: <b>151118-6</b>
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Sujección pasador</b>	ESCALA: <b>10:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>2.8.6</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>09/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>

A

A

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

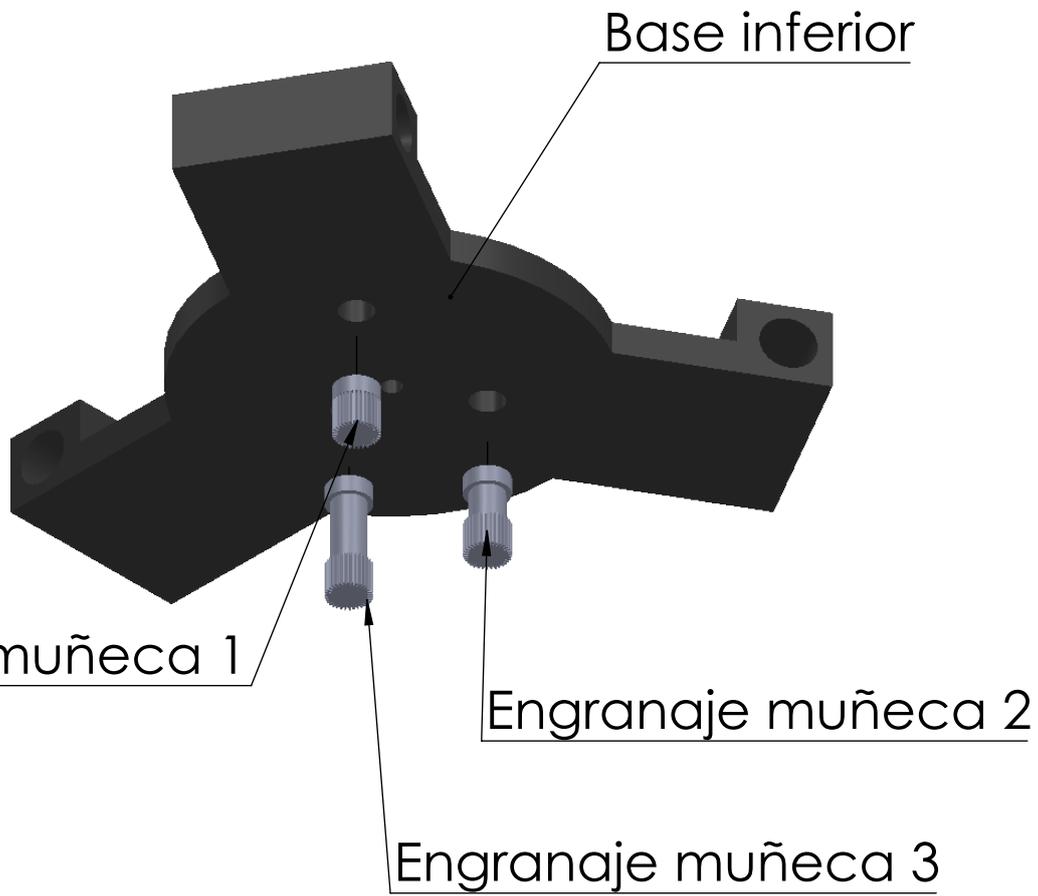
C

B

B

A

A



Pieza	Material	Cantidad
Base inferior	ABS <small>UNE-EN ISO 15015</small>	1
Engranaje muñeca 1	Aluminio	1
Engranaje muñeca 2	Aluminio	1
Engranaje muñeca 3	Aluminio	1

FIRMA:  
**Carlos Moreno Sanz**

ESCUELA:  
  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño**

UNIVERSIDAD:  
 **UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

NOMBRE DEL PROYECTO:  
Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino

TIPO DE DOCUMENTO:  
Dibujo de subconjunto

TÍTULO:  
**Conjunto base inferior**

MATERIAL:  
**Aluminio/ABS** UNE-EN ISO 15015

REFERENCIA:  
**151121-7**

ESCALA:  
**1:1**

Formato:  
**A4**

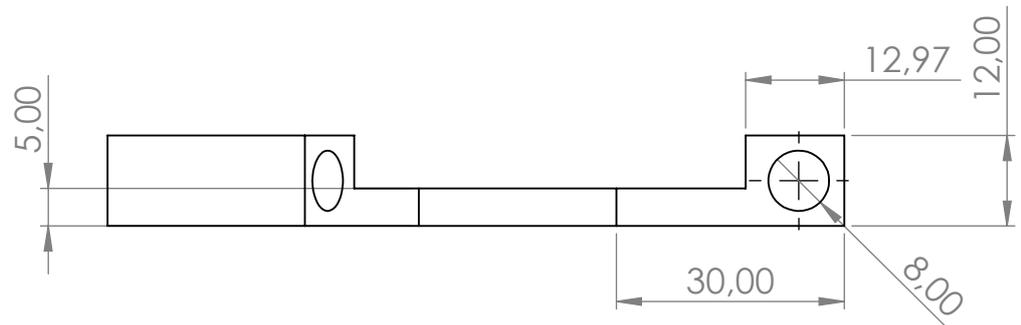
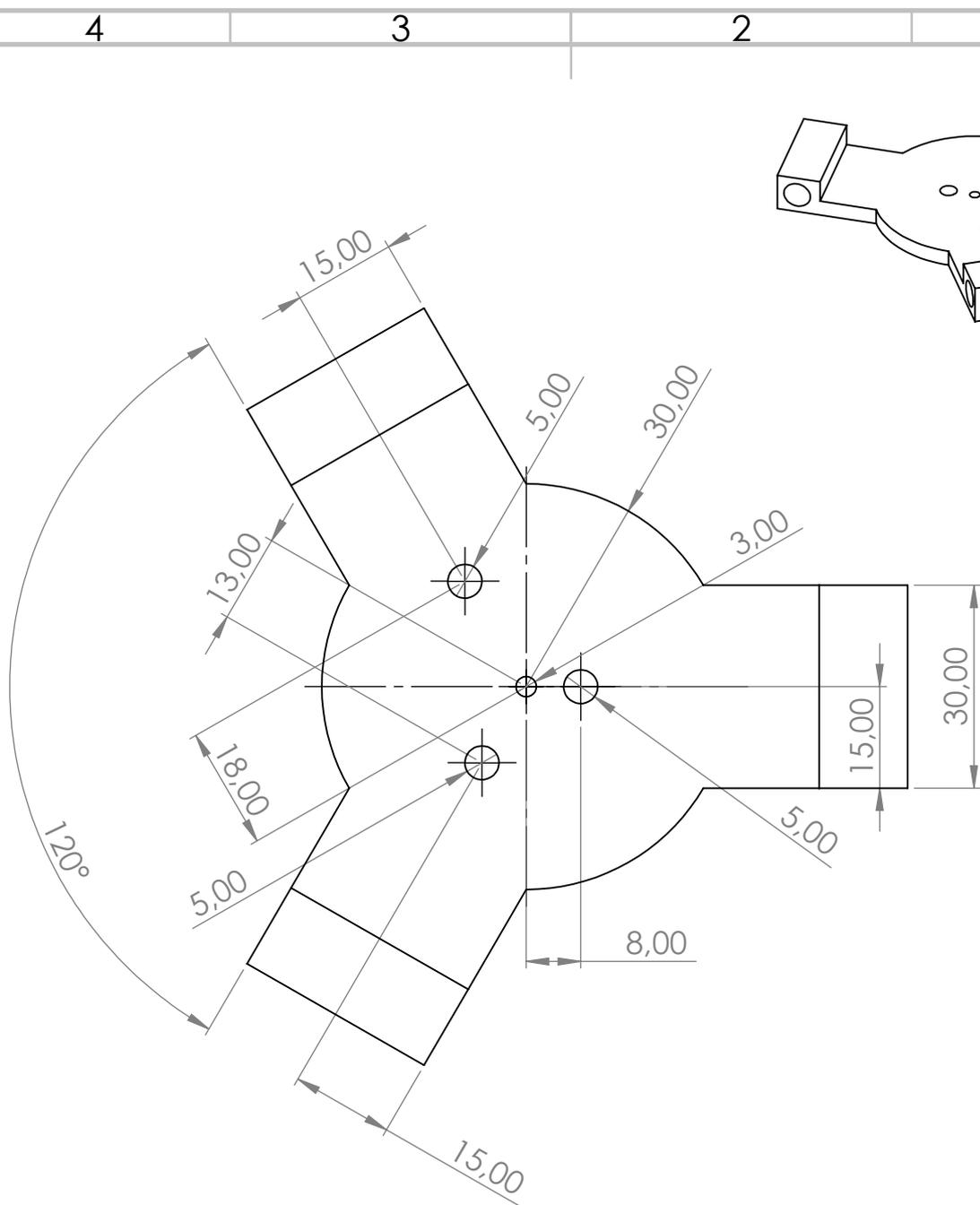
FECHA DE EDICIÓN:  
**09/06/20**

ORIENTACIÓN:  


REVISIÓN:  
**A**

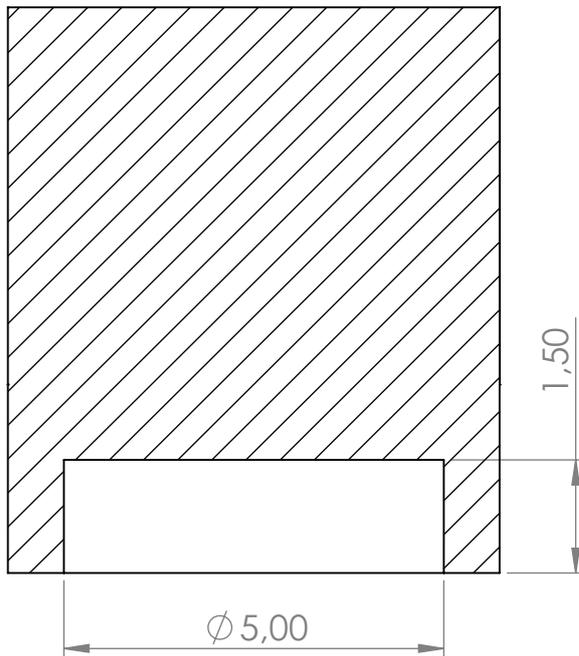
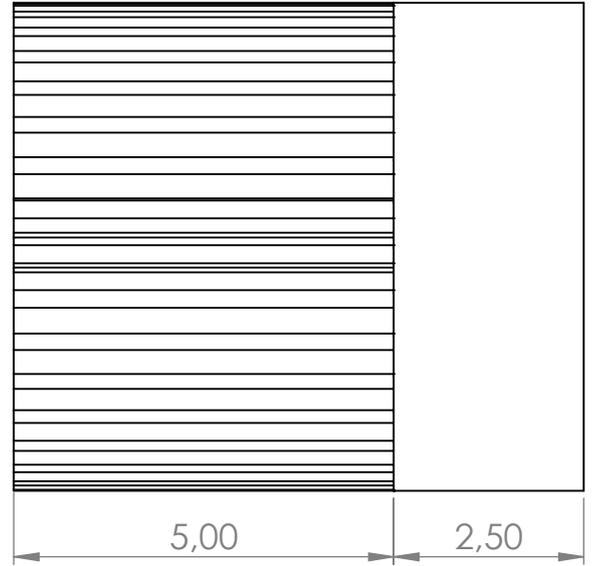
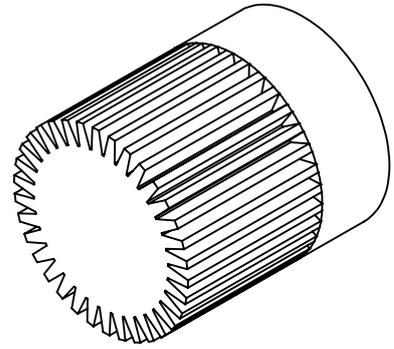
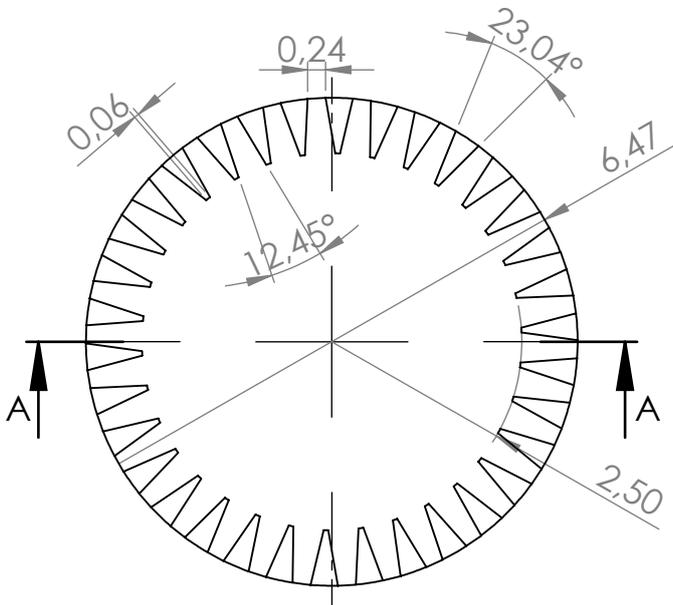
Nº PLANO:  
**3**

HOJA:  
**1/1**



\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: <b>Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino</b>	MATERIAL: <b>ABS</b> UNE-EN ISO 15015	
ESCUELA:  <b>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</b>	TIPO DE DOCUMENTO: <b>Dibujo de subconjunto</b>	REFERENCIA: <b>151120-1</b>	ORIENTACIÓN: 
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Base inferior</b>	ESCALA: <b>1:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>3.1</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>10/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>



SECCIÓN A-A  
ESCALA 10 : 1

\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.

\*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA:

Carlos Moreno Sanz

ESCUELA:



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD:



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

NOMBRE DEL PROYECTO:

Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino

TIPO DE DOCUMENTO:

Dibujo de subconjunto

TÍTULO:

Engranaje muñeca 1

MATERIAL:

Aluminio

REFERENCIA:

151120-2

ORIENTACIÓN:



ESCALA:

10:1

REVISIÓN:

A

Formato:

A4

Nº PLANO:

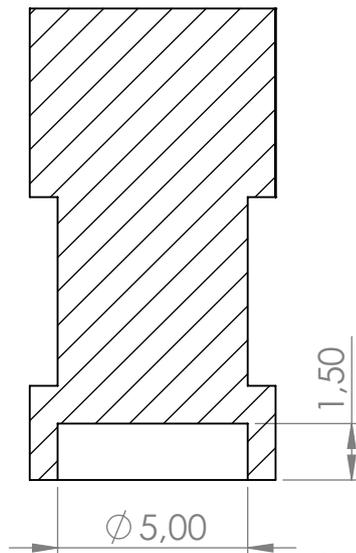
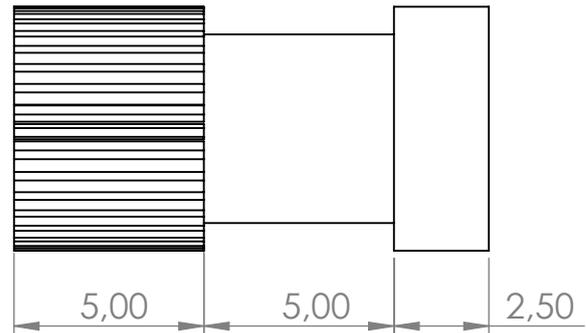
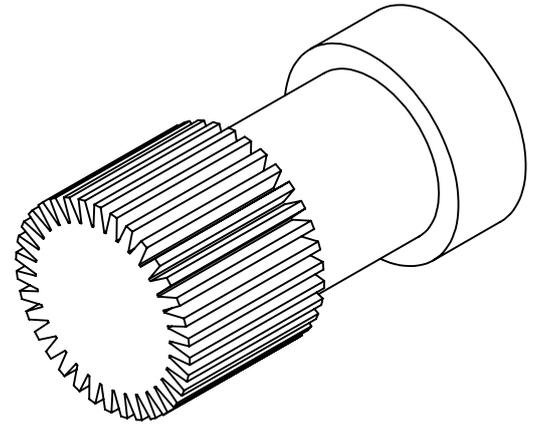
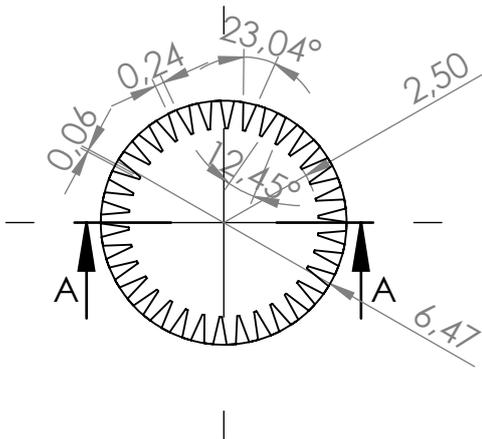
3.2

FECHA DE EDICIÓN:

10/06/20

HOJA:

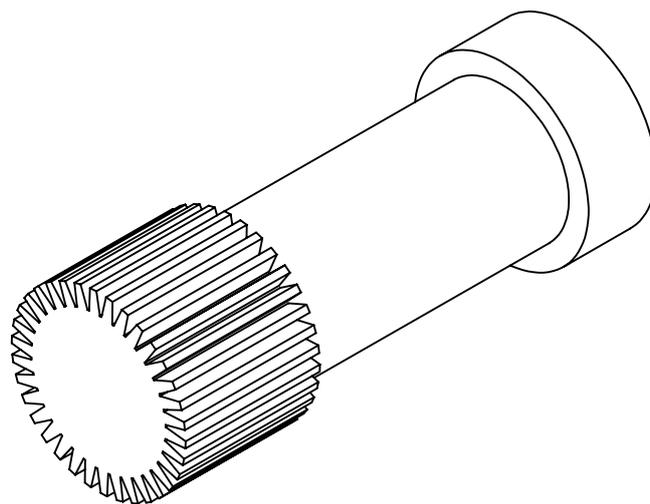
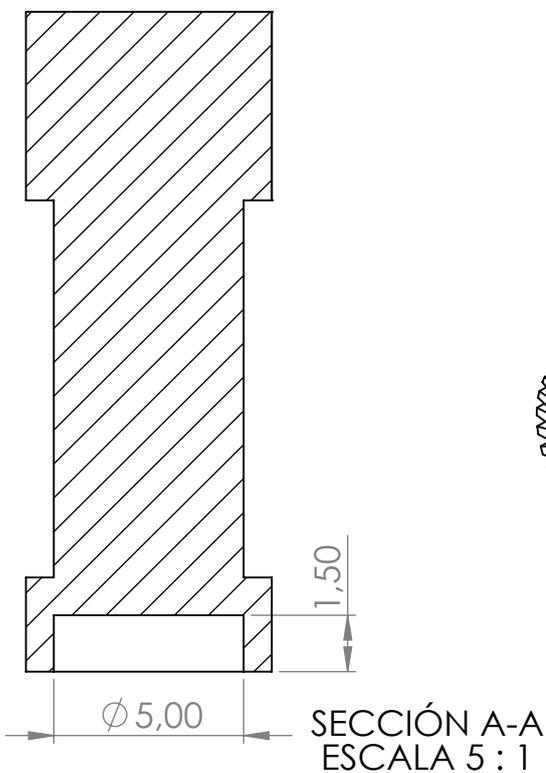
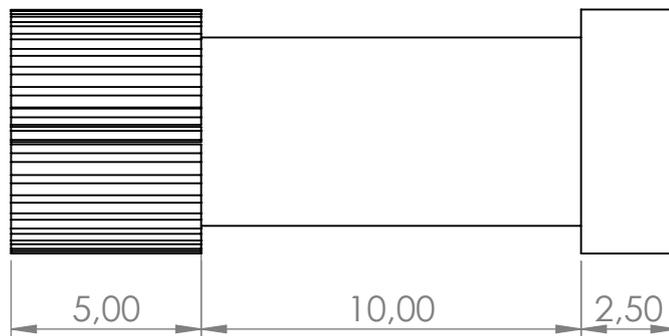
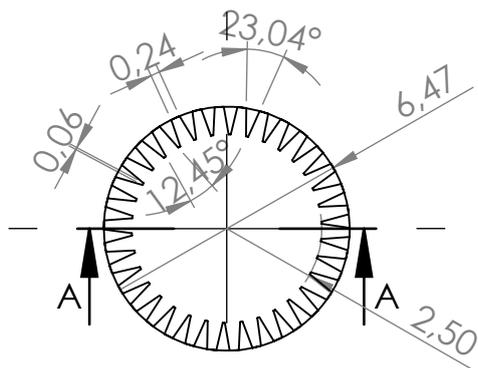
1/1



SECCIÓN A-A

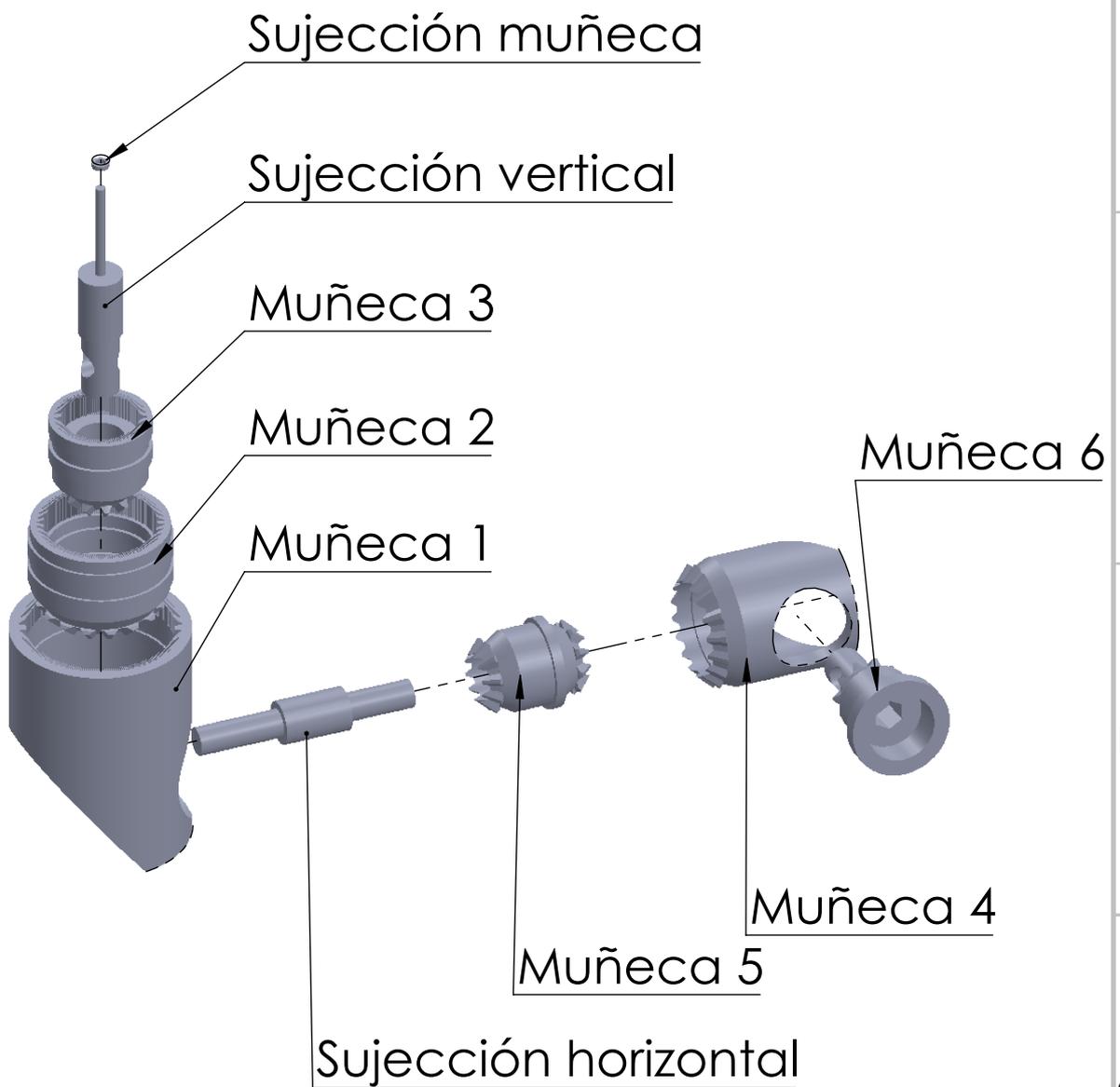
\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>Aluminio</b>	
	ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: Dibujo de subconjunto	REFERENCIA: <b>151120-3</b>
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Engranaje muñeca 2</b>	ESCALA: <b>5:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>3.3</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>10/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>



\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>Aluminio</b>	
		REFERENCIA: <b>151120-4</b>	ORIENTACIÓN: 
ESCUELA:  <b>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</b>	TIPO DE DOCUMENTO: <b>Dibujo de subconjunto</b>	ESCALA: <b>5:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Engranaje muñeca 3</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>10/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>



Pieza	Material	Cantidad
Sujeción muñeca	ABS UNE-EN ISO 15015	1
Sujeción vertical	ABS UNE-EN ISO 15015	1
Muñeca 1	ABS UNE-EN ISO 15015	1
Muñeca 2	ABS UNE-EN ISO 15015	1
Muñeca 3	ABS UNE-EN ISO 15015	1
Sujeción horizontal	ABS UNE-EN ISO 15015	1
Muñeca 4	ABS UNE-EN ISO 15015	1
Muñeca 5	ABS UNE-EN ISO 15015	1
Muñeca 6	ABS UNE-EN ISO 15015	1

FIRMA:  
**Carlos Moreno Sanz**

ESCUELA:  
  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño**

UNIVERSIDAD:  
 **UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

NOMBRE DEL PROYECTO:  
Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino

TIPO DE DOCUMENTO:  
Dibujo de subconjunto

TÍTULO:  
**Muñeca**

MATERIAL:  
**PLA**

REFERENCIA:  
**151121-6**

ORIENTACIÓN:  


ESCALA:  
**1:2**

REVISIÓN:  
**A**

Formato:  
**A4**

Nº PLANO:  
**4**

FECHA DE EDICIÓN:  
**09/06/20**

HOJA:  
**1/1**

4 3 2 1

F

F

E

E

D

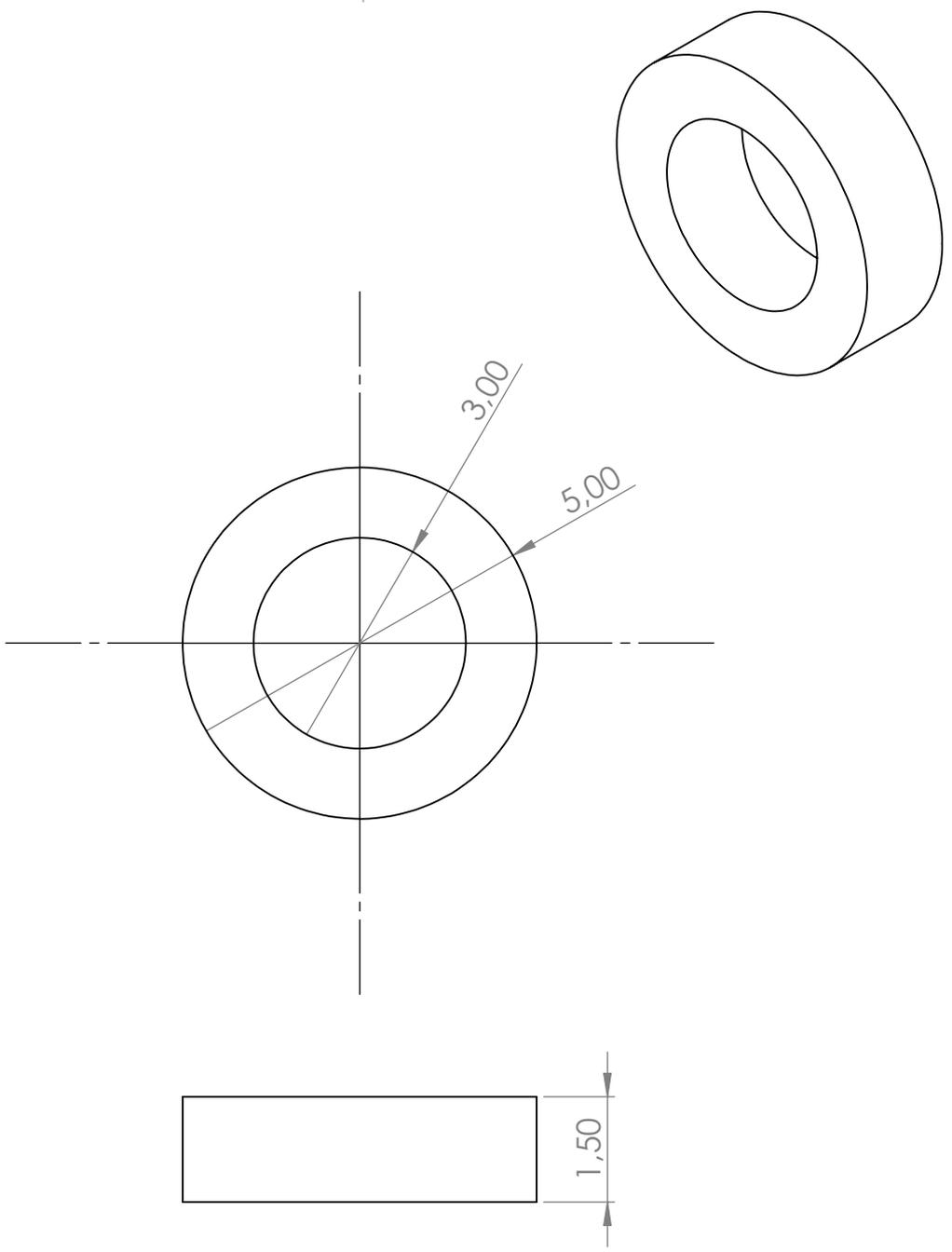
D

C

C

B

B



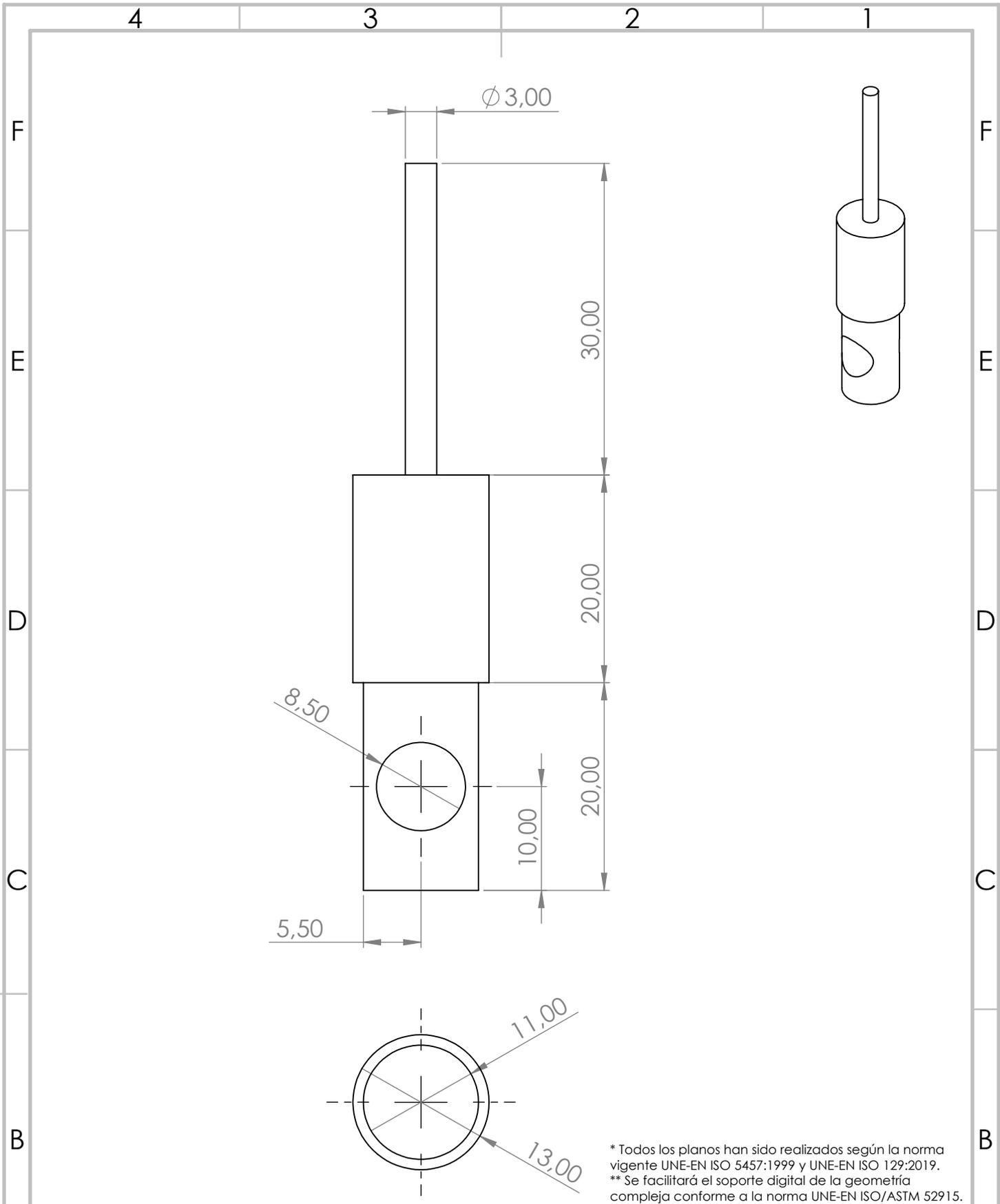
\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: <b>Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino</b>	MATERIAL: <b>ABS</b> <small>UNE-EN ISO 15015</small>	
ESCUELA:  <b>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</b>	TIPO DE DOCUMENTO: <b>Dibujo de subconjunto</b>	REFERENCIA: <b>151121-0</b>	ORIENTACIÓN: 
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Sujección muñeca</b>	ESCALA: <b>10:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>4.1</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>10/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>

A

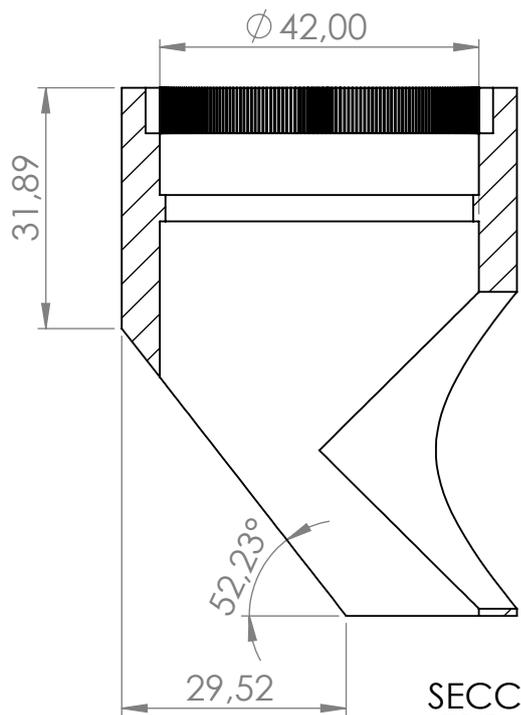
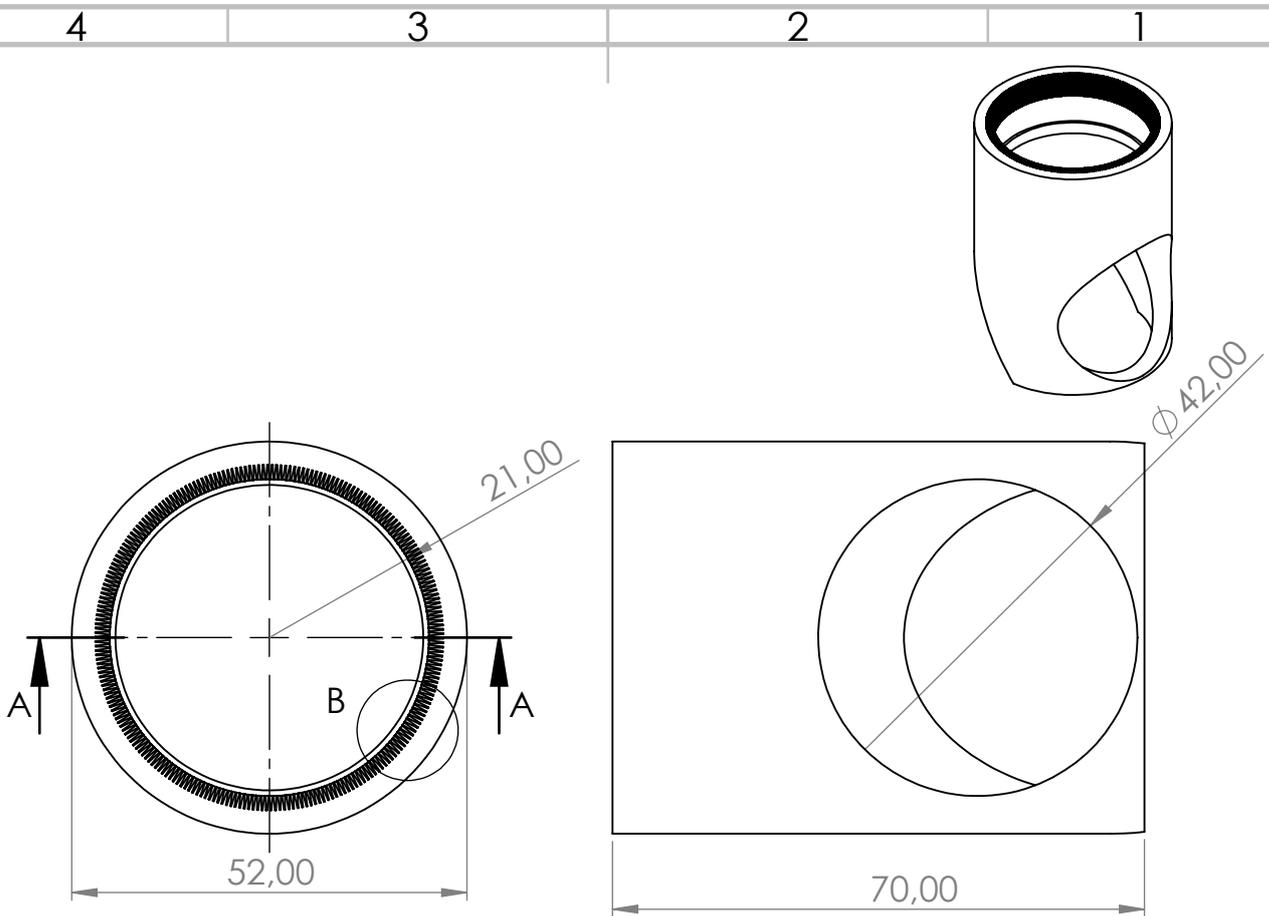
A

4 3 2 1

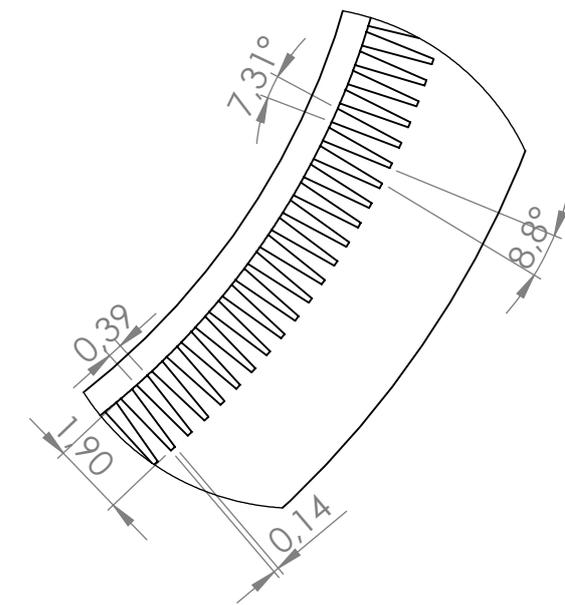


\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>ABS</b> <small>UNE-EN ISO 15015</small>	
	ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: Dibujo de subconjunto	REFERENCIA: <b>151122-1</b>
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Sujección Vertical</b>	ESCALA: <b>2:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>4.2</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>10/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>



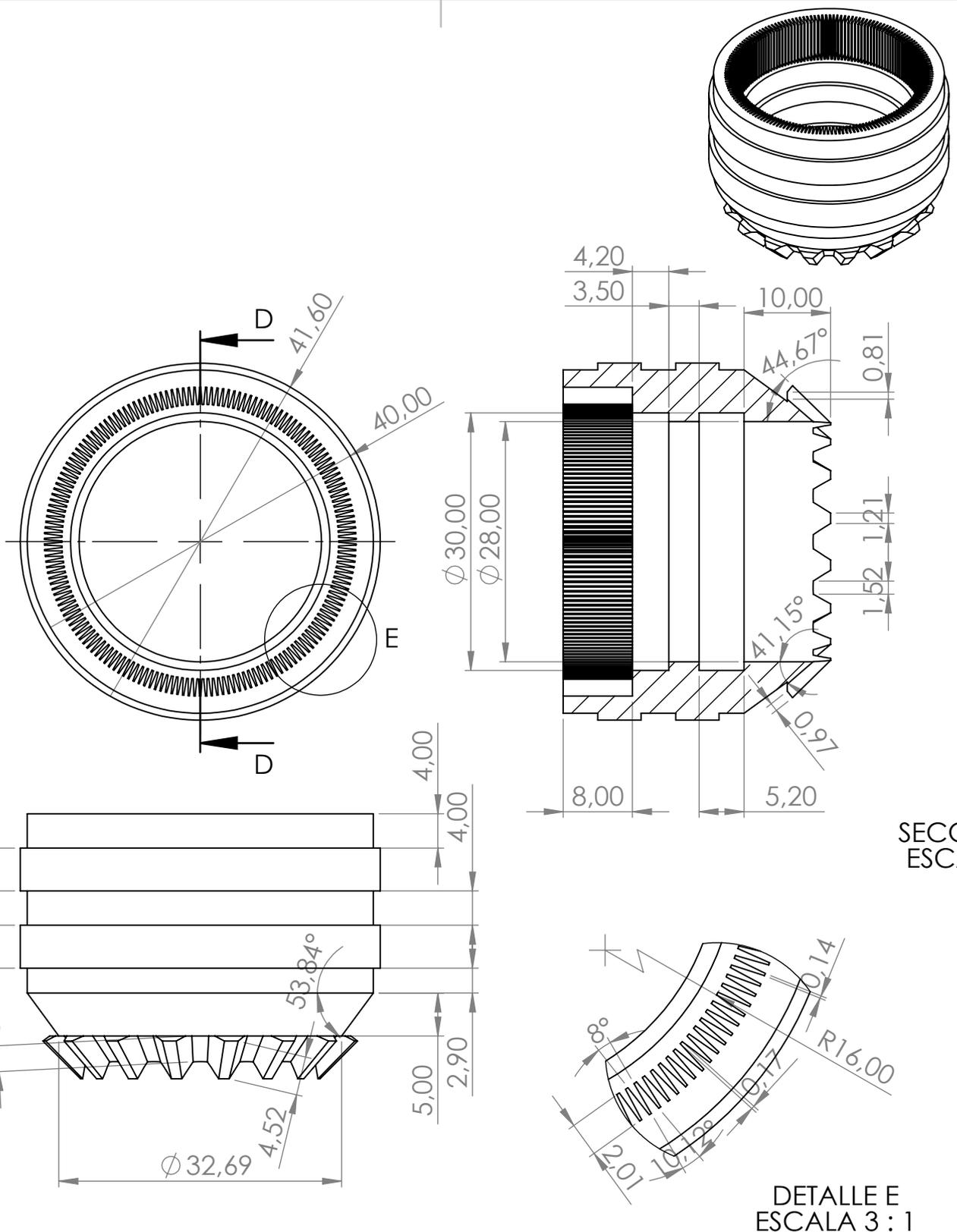
SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 1



DETALLE B  
ESCALA 5 : 1

\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>  ESCUELA:  <b>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</b>  UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: <b>Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino</b>	MATERIAL: <b>ABS</b> <small>UNE-EN ISO 15015</small>	
	TIPO DE DOCUMENTO: <b>Dibujo de subconjunto</b>	REFERENCIA: <b>151121-3</b>	ORIENTACIÓN: 
	TÍTULO: <b>Muñeca 1</b>	ESCALA: <b>1:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>4.3</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>10/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>

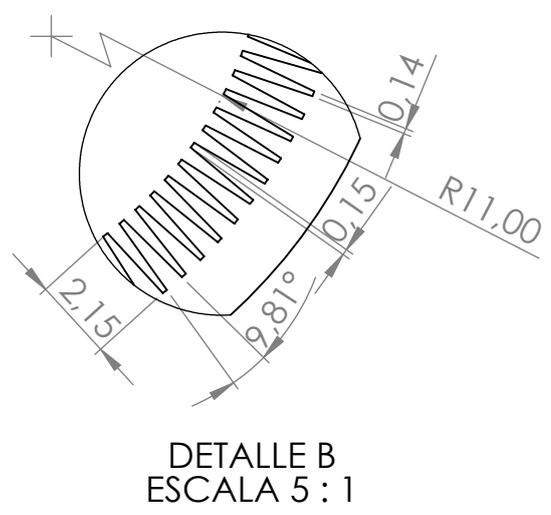
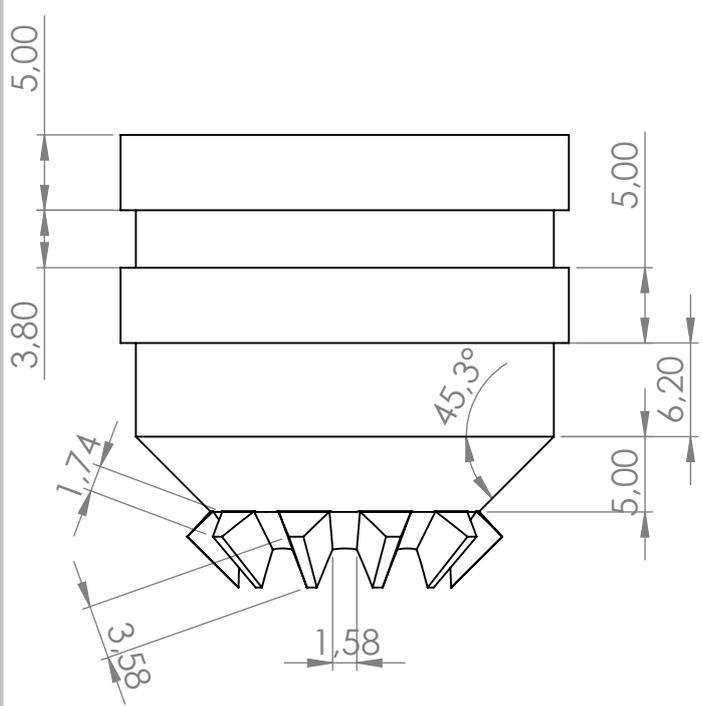
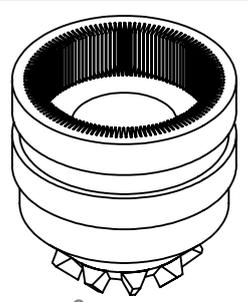
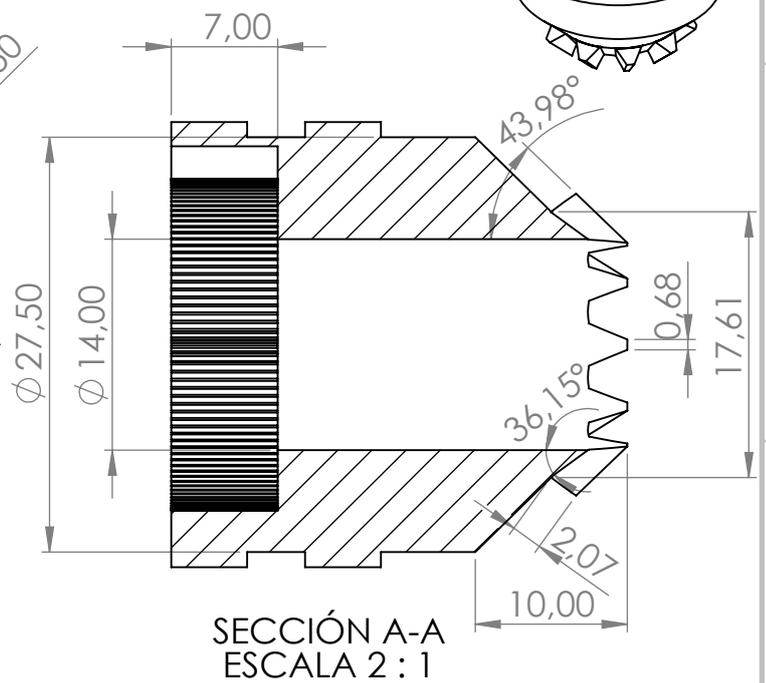
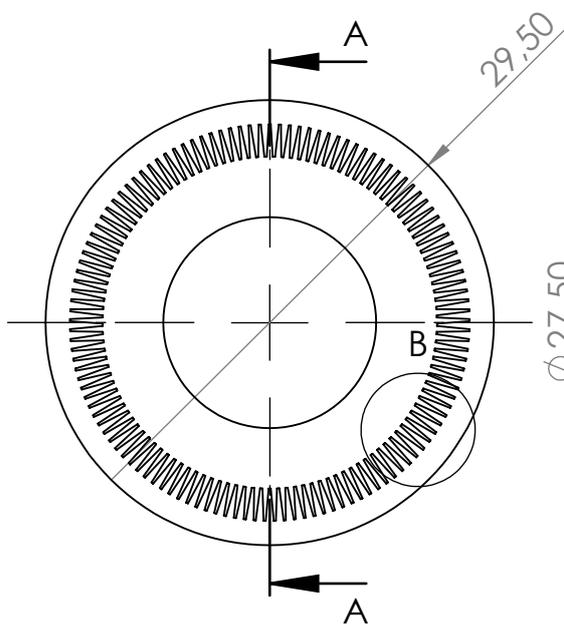


SECCIÓN ESCALA 1:1

DETALLE E ESCALA 3:1

\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>ABS</b> <small>UNE-EN ISO 15015</small>	
	ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: Dibujo de subconjunto	REFERENCIA: <b>151121-4</b>
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Muñeca 2</b>	ESCALA: <b>3:2</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>4.4</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>10/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>



\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>ABS</b> <small>UNE-EN ISO 15015</small>	
ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: Dibujo de subconjunto	REFERENCIA: <b>151121-5</b>	ORIENTACIÓN: 
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Muñeca 3</b>	ESCALA: <b>2:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>4.5</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>10/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>

4 3 2 1

F

F

E

E

D

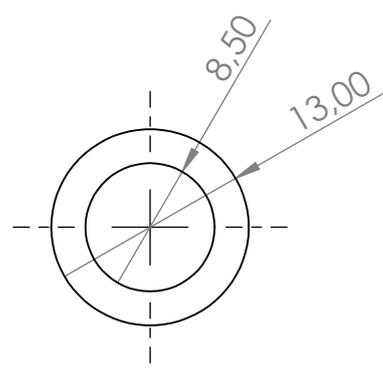
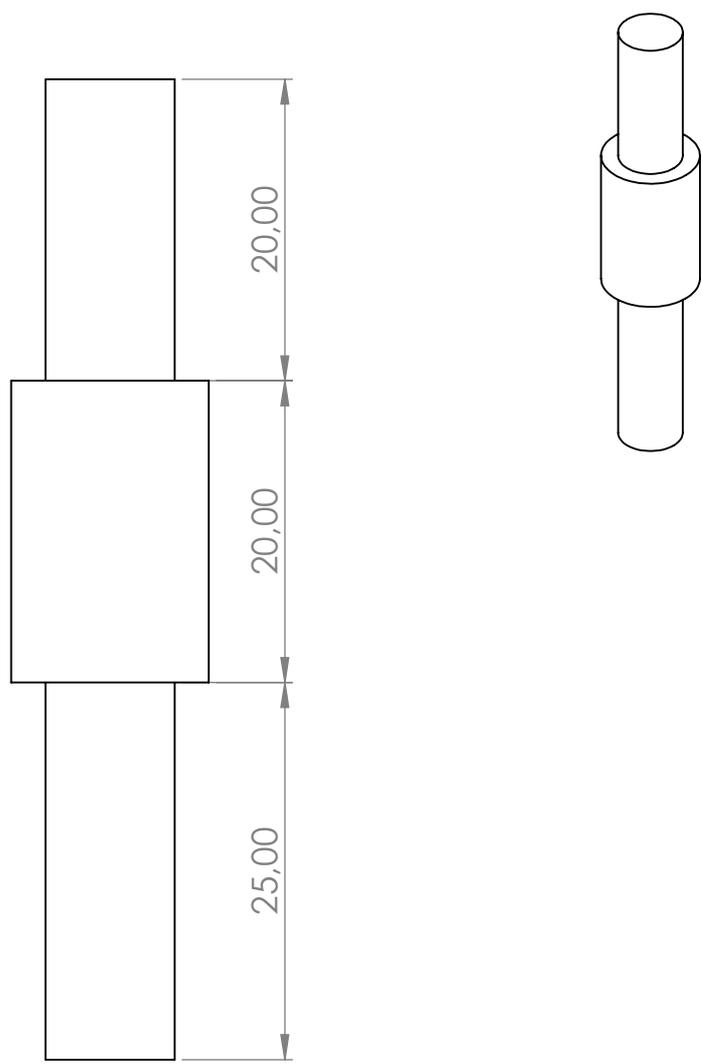
D

C

C

B

B



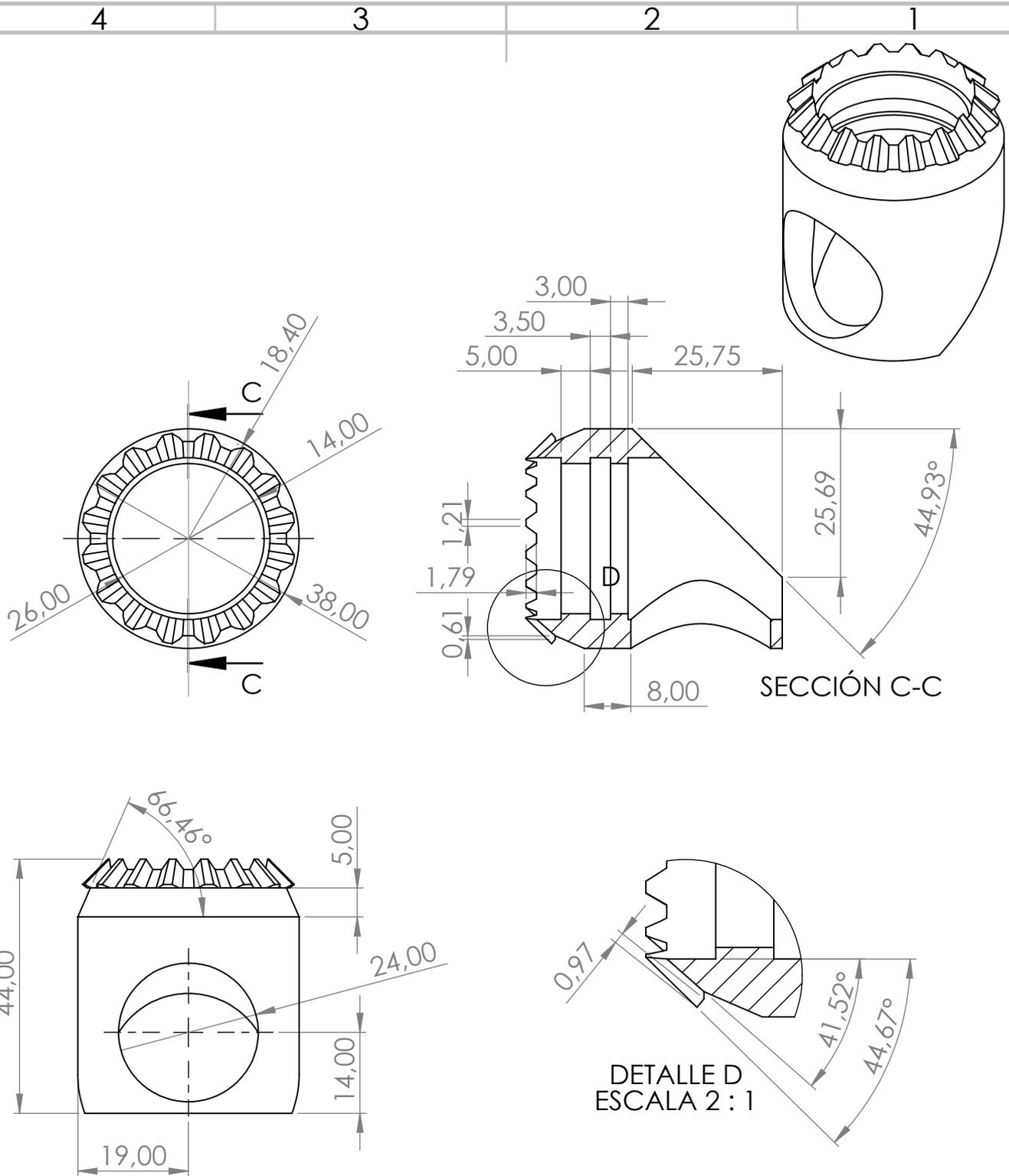
\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: <b>Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino</b>	MATERIAL: <b>ABS</b> <small>UNE-EN ISO 15015</small>	
		REFERENCIA: <b>151121-6</b>	ORIENTACIÓN: 
ESCUELA:  <b>Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño</b>	TIPO DE DOCUMENTO: <b>Dibujo de subconjunto</b>	ESCALA: <b>2:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Sujección horizontal</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>10/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>

A

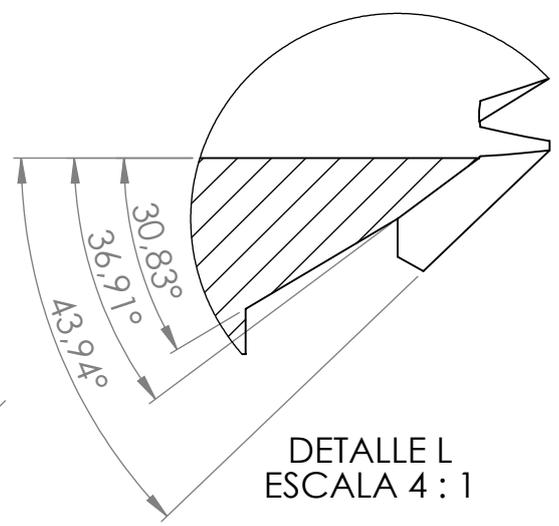
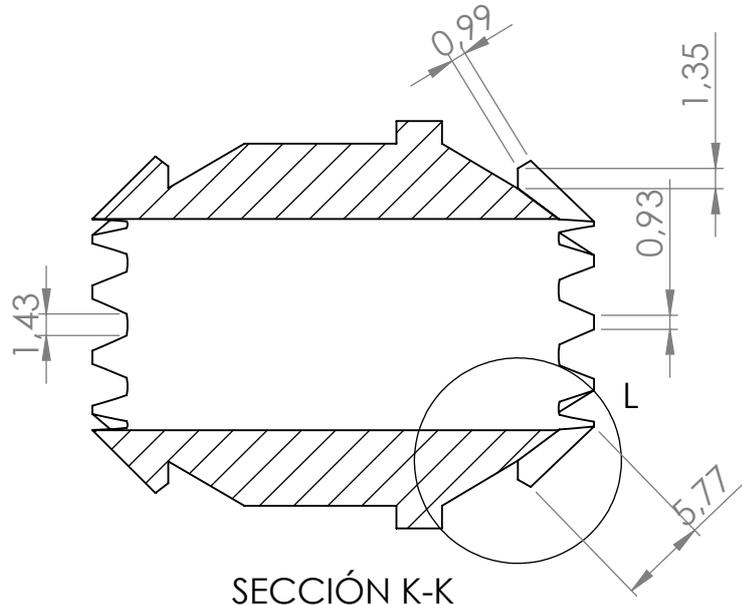
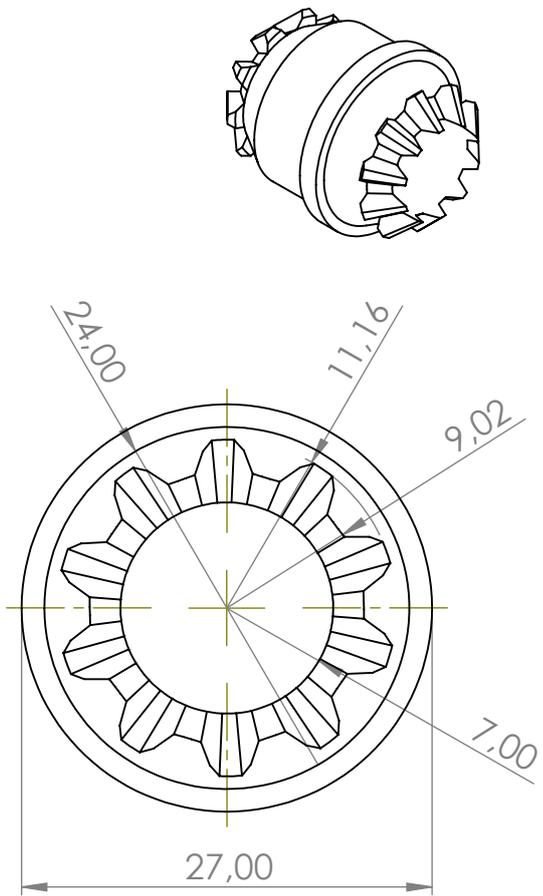
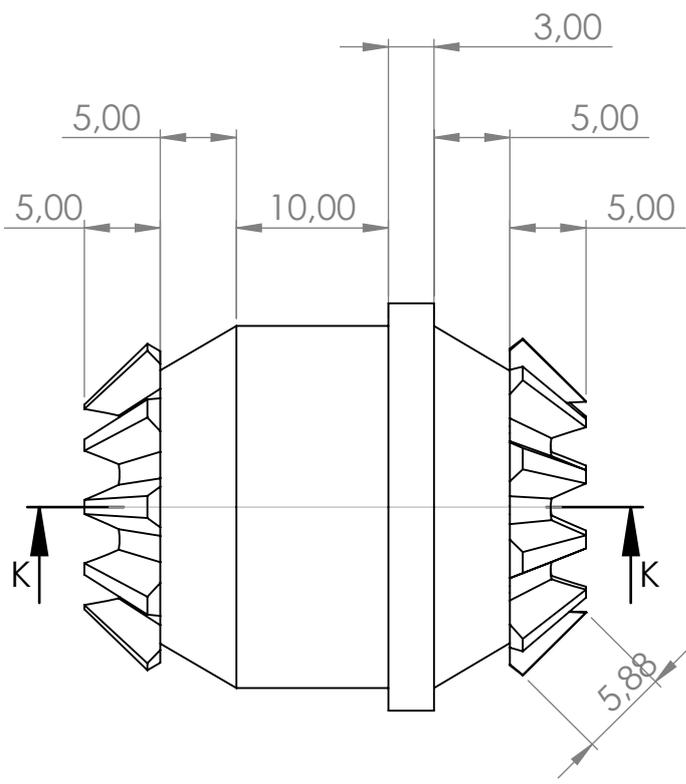
A

4 3 2 1



\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>ABS</b> <small>UNE-EN ISO 15015</small>	
ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: Dibujo de subconjunto	REFERENCIA: <b>151121-7</b>	ORIENTACIÓN: 
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Muñeca 4</b>	ESCALA: <b>1:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>4.7</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>10/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>

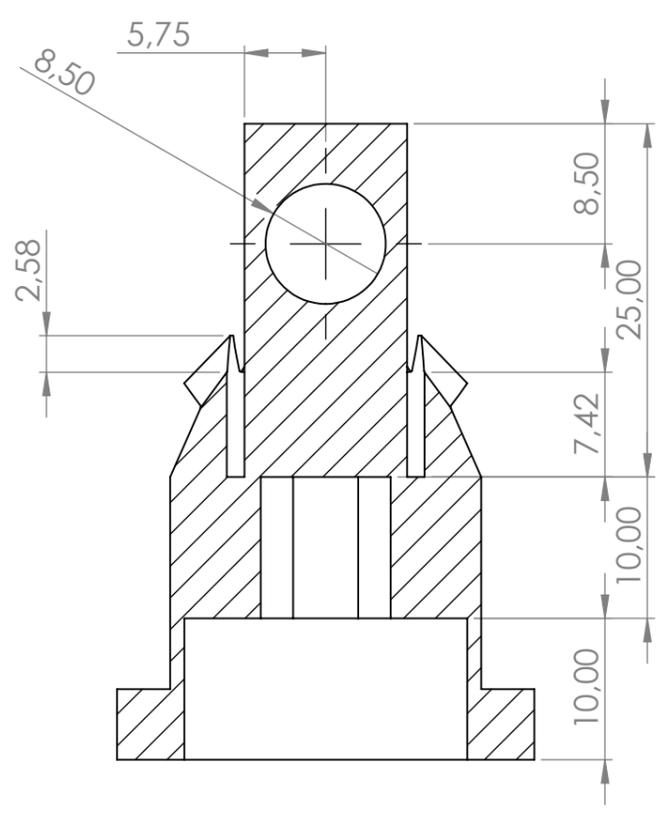
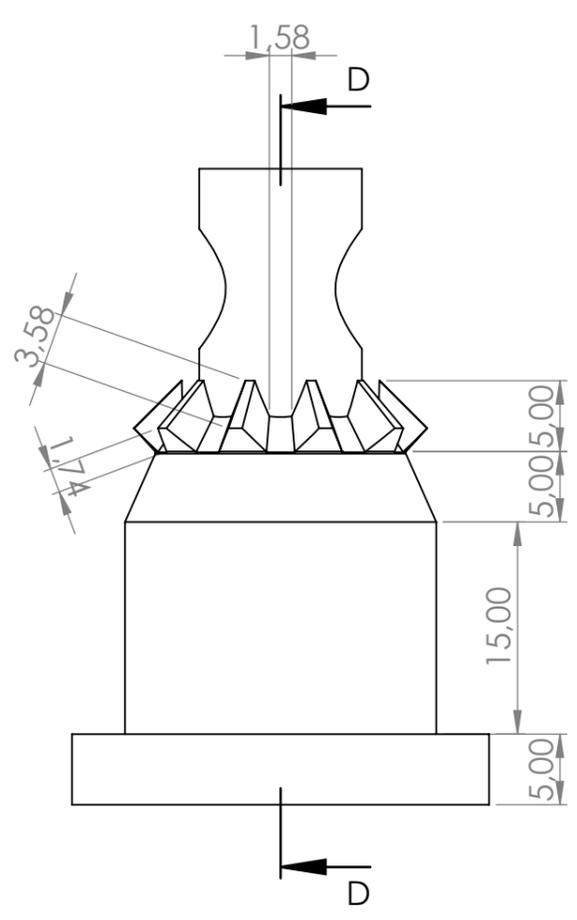
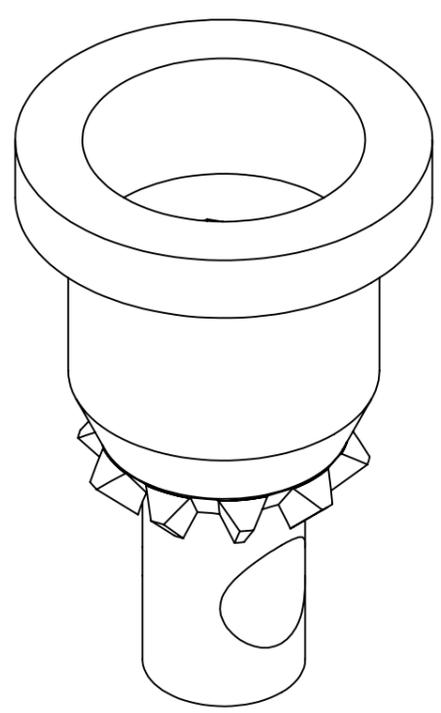
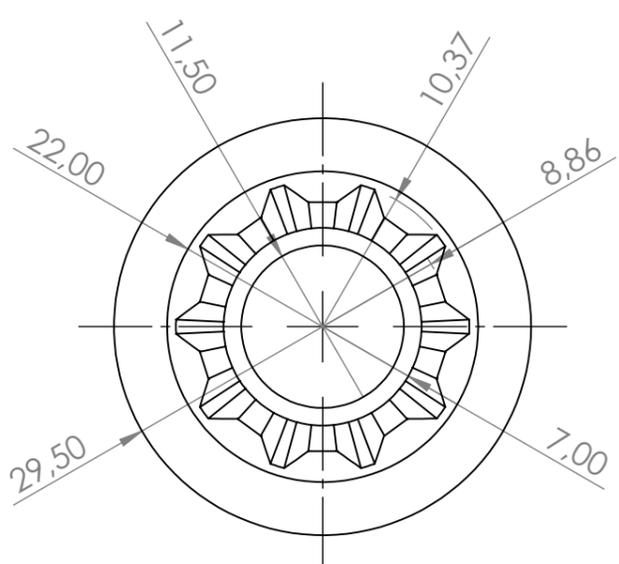


SECCIÓN K-K

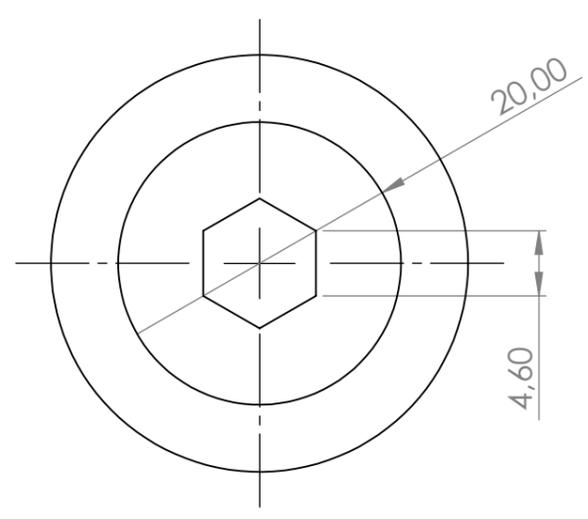
DETALLE L  
ESCALA 4 : 1

\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
 \*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>ABS</b> <small>UNE-EN ISO 15015</small>	
	ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	TIPO DE DOCUMENTO: Dibujo de subconjunto	REFERENCIA: <b>151121-8</b>
UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	TÍTULO: <b>Muñeca 5</b>	ESCALA: <b>2:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A4</b>	Nº PLANO: <b>4.8</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>10/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>



SECCIÓN D-D  
ESCALA 2 : 1



\* Todos los planos han sido realizados según la norma vigente UNE-EN ISO 5457:1999 y UNE-EN ISO 129:2019.  
\*\* Se facilitará el soporte digital de la geometría compleja conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915.

FIRMA: <b>Carlos Moreno Sanz</b> ESCUELA:  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño UNIVERSIDAD:  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño y desarrollo de un robot de bajo coste delta de seis ejes basado en Arduino	MATERIAL: <b>ABS</b> <small>UNE-EN ISO 15015</small>	
	TIPO DE DOCUMENTO: Dibujo de subconjunto	REFERENCIA: <b>151121-9</b>	ORIENTACIÓN: 
	TÍTULO: <b>Muñeca 6</b>	ESCALA: <b>2:1</b>	REVISIÓN: <b>A</b>
		Formato: <b>A3</b>	Nº PLANO: <b>4.9</b>
		FECHA DE EDICIÓN: <b>10/06/20</b>	HOJA: <b>1/1</b>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño**

---

Documento número 3:

Pliego de Condiciones Técnicas

**Diseño y desarrollo de un robot  
delta de seis ejes de bajo coste**

Trabajo final de grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Autor: Carlos Moreno Sanz

Tutor: Leopoldo Armesto Ángel

Curso académico 2019-2020

# 1 Objeto

El departamento de ingeniería de Sistemas y Automática, solicita el diseño de un robot delta para la realización de la tarea pick and place.

Para ello, el promotor Leopoldo Armesto Ángel, propone al contratista Carlos Moreno Sanz la realización de dicho estudio acordando que la entrega final se realizará llave en mano, de forma que se aporte un documento digital en el que se muestre el correcto funcionamiento del sistema robotizado.

El robot deberá constar de seis grados de libertad, siendo capaz de poder orientar su herramienta en de forma completa. Además, el diseño deberá ser factible de construir empleando principalmente una impresora 3D y servomotores como sistema de movimiento. Por otro lado, el robot deberá ser capaz de mover objetos hasta de 150 gramos.

Para concluir se deberá presentar un video de la simulación del funcionamiento del robot para garantizar el cumplimiento del objetivo presentado, junto con toda la documentación necesaria para su construcción y estudio.

## 2 Condiciones de los materiales

Los materiales adquiridos para la fabricación del producto estarán conforme a la normativa vigente y exigible. Es decir, deberán llevar su correspondiente marcado CE.

### 2.1 Piezas diseñadas en ABS

Para este proyecto será necesario que todas las partes del robot que en su diseño indique que se deben crear con ABS, Acrilonitrilo butadieno estireno, cumplan con la norma UNE-EN ISO 15015 con una elasticidad de tracción de 2030 MPa y una resistencia ante impacto de 58 kJ/m<sup>2</sup>.

Asimismo los métodos de ensayo y de control calidad de dicho material los encontramos expuestos en el quinto apartado de la norma UNE-EN ISO 15015.

### 2.2 Sistema de movimiento del robot

Los servomotores del posicionado del robot deberán ser capaces de mover toda la estructura del robot con facilidad junto con una pieza hasta de 150 gramos. Así mismo los servomotores encargados de la orientación del efector final deberán ser capaces, de orientar los objetos con facilidad a la vez que el robot varía su posición. Por todo ello deberá ser necesario realizar los cálculos pertinentes para la elección de dichos servomotores y adaptar nuestro modelo a ellos.

Igualmente, se deberán escoger servomotores que cumplan los pertinentes controles de calidad que nos aseguren el correcto funcionamiento del robot, además de cumplir la normativa vigente y contener el marcado CE.

### 3 Ejecución

Para la realización del trabajo se realizará una estructura de ejecución realimentada, para la búsqueda de posibles errores.

En primer lugar, se realizará un estudio de los robots delta para conocer su funcionamiento y sus aspectos más críticos, gracias a ello podremos realizar un primer diseño de nuestro robot mediante una herramienta de diseño digital. Una vez obtenido un primer diseño lo trasladaremos a un entorno de simulación controlado, donde poder crear la estructura del robot de forma correcta y poder testarlo. En dichas pruebas observaremos posibles fallos los cuales deberemos solucionar volviendo a la etapa de diseño. De esta forma gracias a esta realimentación podremos obtener un diseño final que cumpla con los objetivos planteados.

No debemos olvidar que para la fabricación de las piezas, se contará con los planos y con el soporte digital de la geometría del robot conforme a la norma UNE-EN ISO/ASTM 52915. En la que se exige la aportación de los documentos digitales de las piezas complejas. De esta forma se podrá construir el robot de una forma sencilla.

### 4 Ensayos de recepción

En el caso de fabricar el robot de ser montado se deberán realizar ciertos controles de calidad a las piezas adquiridas

COMPONENTE	PRUEBA	CONTROLES A REALIZAR	NÚMERO DE CONTROLES	CONDICIÓN DE NO ACEPTACIÓN
<b>Placa de control</b>	Correcta ejecución de los comandos.	Enviar desde la placa de control una configuración específica.	Uno por robot.	El robot no responde o no ejecuta de forma correcta la configuración.
<b>Servomotores</b>	Movilidad de los brazos y la muñeca	Indicar una posición y orientación específica	Uno por cada servomotor.	El robot no responde o lo hace de forma incorrecta.
<b>Sistema de alimentación</b>	Funcionamiento de todos los elementos simultáneamente	Medición de los voltajes en todos los puntos los servomotores	Uno por robot.	El voltaje medido sea inferior al demandado por el servomotor

## 5 Entrega

La entrega se acuerda entre el promotor Leopoldo Armesto Ángel y el contratista Carlos Moreno Sanz, que se realizará antes del día 12 de Julio del 2020.

Debido a que el trabajo propuesto se basa en la ejecución de un diseño y su simulación. En la entrega, no se entregará el robot físico, sino que en su lugar se entregará un documento donde se recojan todos los estudios realizados junto al proceso de diseño del robot. De la misma manera se entregará un documento con los planos del robot y sus correspondientes esquemas para su correcto ensamblado, juntamente con los archivos digitales necesarios para poder producir de forma dicho robot.

Por último, se adjuntará un video de las pruebas superadas por el robot, en el que se observe el robot cumplir los objetivos demandados además del archivo del robot en el entorno de simulación para que se puedan realizar más pruebas.

Valencia a 12 de Enero del 2020.

Firma promotor:

Leopoldo Armesto Ángel

Firma contratista:

Carlos Moreno Sanz



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño**

---

Documento número 4:

Presupuesto

**Diseño y desarrollo de un robot  
delta de seis ejes de bajo coste**

Trabajo final de grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Autor: Carlos Moreno Sanz

Tutor: Leopoldo Armesto Ángel

Curso académico 2019-2020

Presupuesto diseño robot delta de seis grados de libertad

Presupuesto 0001

10/01/2020

Datos contratista	Datos promotor
Carlos Moreno Sanz Carrer Játiva, Valencia <a href="mailto:carrosa4@etsid.upv.es">carrosa4@etsid.upv.es</a>	Leopoldo Armesto Ángel Cami de Vera, Valencia

CÓDIGO	CONCEPTO	CANTIDAD (Ud)	PRECIO unitario	PRECIO (euros)
000	Servicio Ingeniero cualificado	250	55,00 €	13.750,00 €
001	Software de diseño Solidworks durante tres meses.	1	1.010,00 €	1.010,00 €
002	Software de simulación V-REP	1	0,00 €	0,00 €
003	Software de calculo Matlab	1	800,00 €	800,00 €

Subtotal 15.560,00 €

IVA 21% 3.267,60 €

**TOTAL PRESUPUESTO 18.827,60 €**

*El presupuesto tiene una valia de 30 dias.*

*Forma y terminos de pago a definir.*

Aceptación por parte del Contratista

Firma y fecha:
----------------

Presupuesto fabricación robot delta de seis grados de libertad

Presupuesto 0002

01/07/2020

Datos contratista	Datos promotor
Carlos Moreno Sanz Carrer Játiva, Valencia <a href="mailto:carmosa4@etsid.upv.es">carmosa4@etsid.upv.es</a>	Leopoldo Armesto Ángel Cami de Vera, Valencia

CÓDIGO	CONCEPTO	CANTIDAD (Ud)	PRECIO unitario	PRECIO (euros)
000	Impresora 3D	1	350,00 €	350,00 €
001	ABS con certificado de cumplimiento norma UNE-EN ISO 15015	1	25,00 €	25,00 €
002	Servomotor Hiwonder LX-824 HV	3	20,00 €	60,00 €
003	Power HD AR-3603 HB	3	10,00 €	30,00 €
004	Varilla de aluminio 6082 T6 1000 x 8 mm	2	50,45 €	100,90 €
005	Engranajes Aluminio	2	10,50 €	21,00 €
006	Unidad de control	1	30,00 €	30,00 €
007	Sistema de alimentación	1	25,00 €	25,00 €
008	Tecnico cualificado	36	33,00 €	1.188,00 €

Subtotal	1.829,90 €
IVA 21%	384,28 €
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>2.214,18 €</b>

*El presupuesto tiene una valia de 30 dias.*

*Forma y terminos de pago a definir.*

Acceptación por parte del Contratista

Firma y fecha:
----------------