



Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología
Sección de Ingeniería Industrial

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOESQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

Autores:

**Kevin Eduardo Caraballo Grillo
José Feliciano Gutiérrez González**

Tutor:

Carmelo Militello Militello

Julio 2015

HOJA DE IDENTIFICACIÓN

PROYECTO

TÍTULO: "Diseño mecánico de un exoesqueleto para cargas ligeras: Brazos"

PETICIONARIO

CLIENTE: Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

UBICACIÓN: Avenida del Astrofísico Francisco Sánchez, s/n, San Cristóbal de La Laguna

PROVINCIA: Santa Cruz de Tenerife

AUTOR

NOMBRE: Kevin Eduardo Caraballo Grillo

TITULACIÓN: Grado Ingeniería Mecánica

DNI: 78642004-J

DIRECCIÓN: C/Siervo de Dios, nº 42, Icod de Los Vinos

PROVINCIA: Santa Cruz de Tenerife

E-MAIL: Kevin.caraballo.93@gmail.com

FECHA: Julio 2015

AUTOR

NOMBRE: José Feliciano Gutiérrez González

TITULACIÓN: Grado Ingeniería Mecánica

DNI: 78615316-M

DIRECCIÓN: C/ Beatas, 55, La Victoria de Acentejo

PROVINCIA: Santa Cruz de Tenerife

E-MAIL: josefgg@telefonica.net

FECHA: Julio 2015

FIRMAS

CLIENTE:

AUTOR:

ÍNDICE GENERAL

I. MEMORIA

II. ANEXOS

Anexo 1: Antropometría

Anexo 2: Cálculos Previos

Anexo 3: Análisis de Tensiones y Desplazamientos

Anexo 4: Catálogos

III. PLANOS

IV. PRESUPUESTO



Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología
Sección de Ingeniería Industrial

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

MEMORIA

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOESQUELETO PARA
CARGAS LIGERAS: BRAZOS**

Autores:

**Kevin Eduardo Caraballo Grillo
José Feliciano Gutiérrez González**

Julio 2015

ÍNDICE

1.	Abstract	6
2.	Introducción al Proyecto	7
3.	Objeto	8
4.	Alcance.....	9
5.	Antecedentes.....	9
6.	Normas y Referencias.....	10
6.1.	Disposiciones legales	10
6.2.	Bibliografía	10
6.3.	Programas informáticos.....	11
7.	Definición de exoesqueleto	11
7.1.	Estructura mecánica.	11
7.2.	Actuadores.....	12
8.	Biomecánica.....	12
8.1.	Posición anatómica.....	13
8.2.	Movimientos	14
8.3.	Articulaciones.....	15
8.4.	Grados de Libertad.....	17
8.5.	Rangos articulares.....	17
9.	Antropometría.....	19
9.1.	Antropometría estática.....	19
9.2.	Antropometría funcional o dinámica.....	20
10.	Dimensiones antropométricas	20
11.	Requisitos de diseño.....	20
12.	Descripción del diseño.....	21
12.1.	Diseño en acero.....	21
12.1.1.	Pieza de agarre.....	21
12.1.2.	Antebrazo.....	21
12.1.3.	Empuñadura.....	23
12.1.4.	Brazo	26
12.1.5.	Hombro y estructura de giro	27

12.2.	Diseño en fibra de carbono y aluminio	28
12.2.1.	Pieza de agarre.....	28
12.2.2.	Antebrazo.....	28
12.2.3.	Brazo	30
12.2.4.	Hombro y estructura de giro	31
10.3	Actuadores analizados.....	31
10.3.1	SKF CAR 40.....	31
10.3.2	SKF CAHB-21	32
10.3.3	Comparación.....	33
13.	Resultados finales.....	34
13.1	Prototipo con brazos de acero	34
13.2	Prototipo con brazos de fibra de carbono y aluminio.....	36
13.3	Comparativa entre ambos diseños de brazos	37
14.	Conclusions.....	38

1. Abstract

The present work is part of a larger work that aims an exoskeleton design to help users to load and unload 50 kilograms boxes in warehouses. The global project has been divided into two subsets, first the base and the back and on the other hand, the arms. So, this work is focused in the mechanical design of arms.

Several steps have been followed in order to achieve a model design that met with the stated objectives. First, anthropometric measurements of the population were searched and analyzed with the aim of establishing the principal arm measures that cover a wide range of users. Once measures were defined, an analytical calculation was performed to dimension the exoskeleton structure, taking into account the distances between joints, the load to be lifted by the arms and the necessary boundary conditions. Furthermore, this calculation let to perform the necessary actuators force and select the model that complies with the needs of strength and speed.

Two model designs of exoskeleton arm are proposed and analyzed, one made of steel, heavier and easier to machine, and another one made of carbon fiber and aluminum, lighter and easier to machine. Both model designs are simulated and analyzed by finite element analysis with Solidworks software. This software allows knowing displacements, strains and stresses under external loads in the different parts of the structure. Boundary conditions have been defined to resemble reality.

Finally, the results of both models design are compared considering the variables of weight and cost.

2. Introducción al Proyecto

El presente Trabajo Fin de Grado forma parte de un proyecto global que pretende dar apoyo a la manipulación de cargas en almacenes mediante el diseño de un exoesqueleto o exorobot mecanizado.

En este Trabajo se aborda el diseño mecánico de los brazos de dicho exoesqueleto. Para ello se estudian las medidas antropométricas, movimientos y articulaciones de los brazos para dar como resultado un primer modelo de exobrazos capaces de vestir a una persona y potenciar los movimientos básicos de los mismos.

Por tanto, este Trabajo Fin de Grado es complementario al desarrollado por el alumno Gabriel Cruz Rivera. La unión de ambos trabajos da como resultado el exoesqueleto o exorobot a cuerpo completo.

El exoesqueleto consta de las siguientes partes:

- Plataforma base sobre la que se sostiene todo el conjunto y que además irá equipada de ruedas que permiten su desplazamiento a lo largo de la zona de trabajo. También constará de espacio para la instalación de la batería o baterías necesarias para dar suministro eléctrico al motor de las ruedas y a los actuadores.
- Espalda y asiento: formada por una estructura vertical que dará soporte a los brazos y a un asiento regulable en altura mediante un actuador.
- Brazos encargados de soportar la carga y cuyos movimientos se realizarán a partir de actuadores con la idea de que el usuario no realice ningún tipo de esfuerzo.

En la siguiente figura se muestra el conjunto completo. Cabe destacar que el diseño de la plataforma y espalda es sólo un boceto inicial y que seguramente sufrirá modificaciones, puesto que esa parte del Trabajo global no fue terminada en la fecha de entrega del presente trabajo.

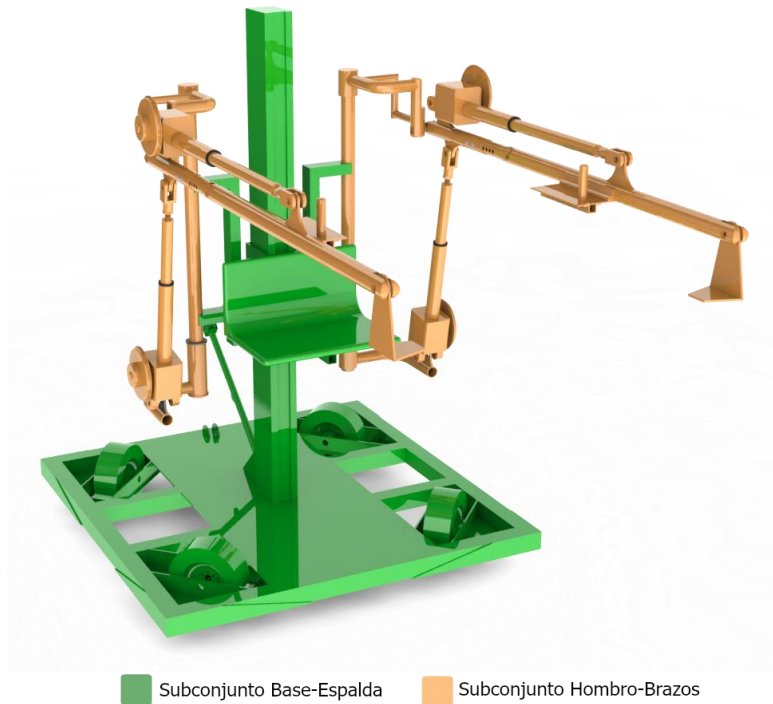


Fig. 1: Esquema general del conjunto del exoesqueleto

Fuente: Elaboración Propia

3. Objeto

El objetivo principal de este trabajo, es el diseño y cálculo de la estructura de los brazos del exoesqueleto y la elección de los actuadores necesarios para llevar a cabo la manipulación de cajas con cargas de hasta 50 kilogramos.

Como ya se dijo, éste se enfoca en las extremidades superiores y no se tendrá en cuenta la programación o actividad sensorial necesaria para la realización de los movimientos. Únicamente el cálculo estructural.

Para llevarlo a cabo, se siguieron una serie de pasos básicos: Estudio de la biomecánica de los brazos y medidas antropométricas del cuerpo humano, prediseño de la estructura del exoesqueleto, cálculo de los actuadores y verificación en *Software de Diseño (SOLIDWORKS)*.

Se trata de un proceso iterativo, haciendo que el resultado final disponga de una serie de configuraciones distintas a las planteadas inicialmente.

4. Alcance

La combinación de ambos Trabajos Fin de Grado pretende abarcar la posibilidad de que un usuario vestido con dicho exoesqueleto, pueda trasladar cargas desde una estantería o ubicación con cota distinta de cero hasta el suelo y viceversa.

En concreto, el presente Trabajo abarca el diseño y cálculo de los brazos del exoesqueleto en varias etapas. Se calcula y analiza un diseño preliminar que se evalúa mediante el *Software Solidworks* para su optimización y propuestas de mejoras.

Por otro lado, se propone el uso de dos configuraciones de materiales distintas. Un diseño basado en acero y otro basado en fibra de carbono y aluminio.

5. Antecedentes

Existen diversas situaciones laborales donde es necesario manipular una carga desde un punto a otro. La manipulación manual de cargas es una de las causas de mayores daños laborales que se manifiestan en forma de lumbalgias, hernias y contracturas.

El RD 487/1997, de 14 de abril de 1997, regula las disposiciones mínimas de seguridad a cumplir en el transporte y manejo manual de cargas. A raíz de este RD el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo elaboró una Guía Técnica sobre Manipulación Manual de Cargas. En esta Guía se considera una carga todo aquel elemento a manipular que pese más de 3 kilogramos y establece como carga máxima a manipular, 25 kilogramos. En el caso de jóvenes, mayores o mujeres, la carga máxima se reduce a 15 kilogramos.

Cómo medidas preventivas, entre otras, se propone la utilización de medios mecánicos en la medida de lo posible. Así, el RD 487/1997 establece dentro de las obligaciones del empresario que éste deberá adoptar las medidas técnicas u organizativas necesarias para evitar la manipulación manual de cargas, en especial mediante la utilización de equipos para el manejo mecánico de las mismas, sea de forma automática o controlada por el trabajador.

El presente Trabajo Fin de Grado forma parte de un Trabajo global que pretende dar una solución mecanizada a la manipulación de cargas de hasta 50 kilogramos en espacios reducidos y aquellos en los que el uso de medios mecánicos tradicionales está limitado.

El exoesqueleto como alternativa a la carretilla elevadora se presenta como una opción interesante para el manejo de cajas de peso medio en almacenes, comercios y edificios industriales.

6. Normas y Referencias

6.1. Disposiciones legales

- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.
- Guía Técnica para la Manipulación Manual de Cargas, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- UNE-EN ISO 14121-1:2008 Seguridad de las máquinas. Evaluación del riesgo.
- UNE-EN ISO 2553:2014 Soldeo y procesos afines. Representación simbólica en los planos. Uniones soldadas.
- UNE 1039:1994 Dibujos técnicos. Acotación. Principios generales, definiciones, métodos de ejecución e indicaciones especiales.
- UNE 157001:2014 Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

6.2. Bibliografía

- Diseño de Elementos de Máquinas, Robert L. Mott, Ed. Pearson
- Elementos de Máquinas, G. Niemann, Ed Labor
- Proyecto Fin de Carrera: Diseño de un Banco de Pruebas para un Exoesqueleto de Miembro Superior, Marcos Martínez Redondo, Universidad Carlos III, Madrid

- Trabajo Fin de Grado: Diseño de un Exoesqueleto: Brazos, Josué Cabrera Delgado y Pablo Alberto Fuerte Rodríguez, Universidad de La Laguna
- Datos Antropométricos de la Población Española, Antonio Carmona Benjumea, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Antropometria: Necessidade de constantes investigações para a Efetiva Contribuição na Área da Ergonomia, Rodrigo Petry Schoenardie y col.

6.3. Programas informáticos

- Solidworks 2015
- Autocad 2015
- Excel 2010

7. Definición de exoesqueleto

Este término se emplea en la biología para describir la estructura exterior y rígida de insectos o crustáceos. Llevándolo al campo de la robótica, son aquellas estructuras externas rígidas que proporcionan soporte a las funciones motrices de las personas, que con un sistema de potencia de motores (Actuadores) proporciona al menos parte de la energía para el movimiento de los miembros, ayuda a su portador a moverse y a realizar cierto tipo de actividades, como el de cargar peso.

Se puede definir por tanto, como un mecanismo estructural externo cuyos segmentos y articulaciones se corresponden con las del cuerpo humano. Y permiten una transmisión directa de potencia mecánica y señales de información. Por ello, éste debe ser ajustable o adaptable a las distintas articulaciones del cuerpo humano, con el fin de alinear los centros de rotación.

Se debe considerar también los aspectos especiales como son la seguridad, robustez y habilidad del mecanismo robótico.

7.1. Estructura mecánica.

Un exorobot o exoesqueleto está formado por una serie de elementos unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo. Existen tres tipos de articulaciones: traslacionales, de giro o mixtas.

Cada uno de los movimientos independientes que puede realizar una articulación con respecto a la anterior, es denominado grado de libertad. La suma de los grados de libertad de las articulaciones de un robot es el número de grados de libertad de éste.

7.2. Actuadores.

Son los encargados de generar el movimiento de los elementos que componen el exoesqueleto. En robótica, la clasificación de los actuadores se realiza en función de la fuente de energía: neumáticos, eléctricos e hidráulicos. A continuación, se muestra una tabla resumen con las diferencias en las características básicas:

Tabla 1: Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de actuadores
Fuente: Elaboración Propia

Tipo de Actuador	Ventajas	Desventajas
Neumático	Bajo costo Rapidez Sencillos Robustos	Requieren de instalaciones especiales Ruidosos
Hidráulico	Rápidos Alta capacidad de carga Presentan estabilidad frente a cargas estáticas	Requieren instalaciones especiales Difícil mantenimiento Poco económicos
Eléctrico	Precisos y fiables Silenciosos Sencillo control Fácil instalación	Potencia limitada

La elección del tipo de actuador dependerá de los siguientes factores: coste, velocidad, control, potencia, precisión, peso, volumen, mantenimiento y seguridad.

8. Biomecánica

La biomecánica es la disciplina científica que tiene por objeto el estudio de las estructuras de carácter mecánico que existen, fundamentalmente del cuerpo humano. Esta área se apoya en diversas ciencias para estudiar el comportamiento del cuerpo humano.

La biomecánica está presente en diversos ámbitos, pero tres de ellos son los más destacados en la actualidad:

- Biomecánica médica.
- Biomecánica deportiva.
- Biomecánica ocupacional.

Se trata de una rama bastante amplia. Por lo que se hará una pequeña introducción a una serie de elementos de movilidad del cuerpo humano, que afectan de lleno al diseño y limitaciones de nuestro exoesqueleto.

8.1. Posición anatómica.

En biomecánica se denomina posición anatómica a la adoptada por un persona de pie, erguida, mirando hacia adelante, con las extremidades superiores relajadas al lado del cuerpo y con las palmas de las manos mirando al frente.

Tomando como referencia esa posición, el movimiento humano se realiza en tres planos: el plano frontal o coronal, el plano sagital y el plano transversal.

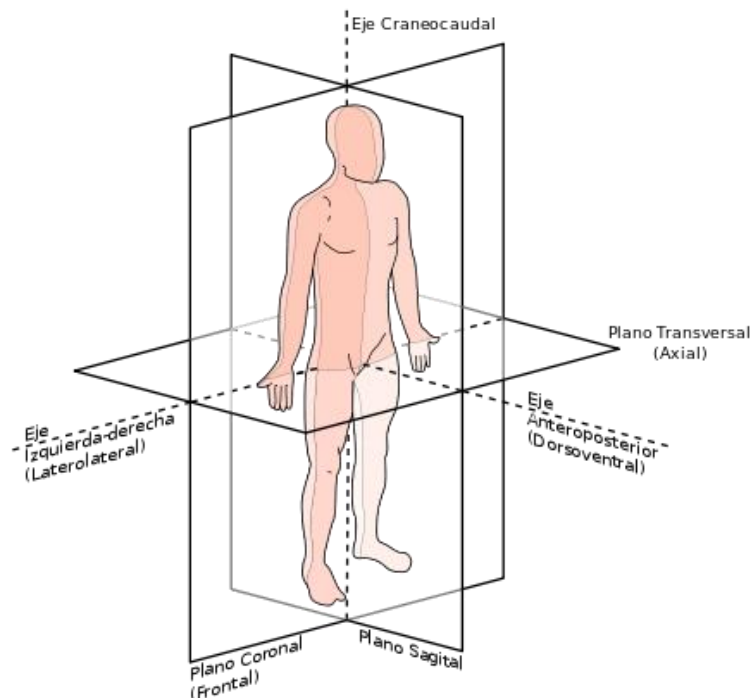


Fig. 2: Planos para la definición de los movimientos del cuerpo humano
Fuente: Wikipedia

8.2. Movimientos

Los movimientos que se pueden desarrollar con las diversas extremidades del cuerpo humano, con respecto a los diferentes planos. Se clasifican como:

- **Flexión**

Movimiento articular que desplaza el segmento corporal hacia adelante del plano frontal.

- **Extensión**

Movimiento articular que desplaza el segmento corporal hacia atrás del plano frontal.

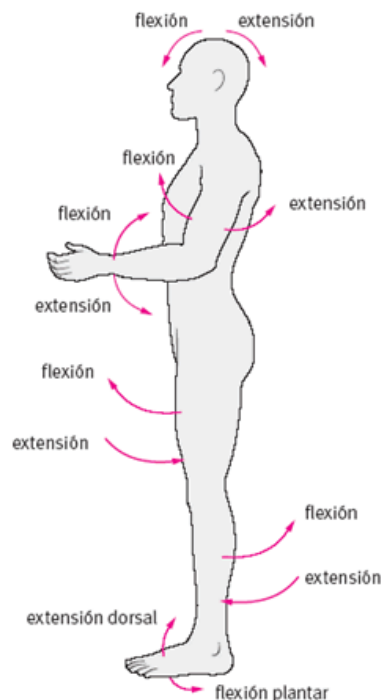


Fig. 3: Movimientos de flexión y extensión del cuerpo humano

Fuente: <https://blogunidad1.wordpress.com>

- **Abducción.**

Movimiento articular que aleja el segmento corporal del plano sagital. Es decir, lo separa del cuerpo.

- **Aducción.**

Movimiento articular que acerca el segmento corporal al plano sagital. Es decir, lo acerca al cuerpo.

- **Rotación externa.**

Movimiento de rotación en el eje longitudinal de la articulación hacia afuera del plano sagital del cuerpo.

- **Rotación interna.**

Movimiento de rotación en el eje longitudinal de la articulación hacia adentro del plano sagital del cuerpo.

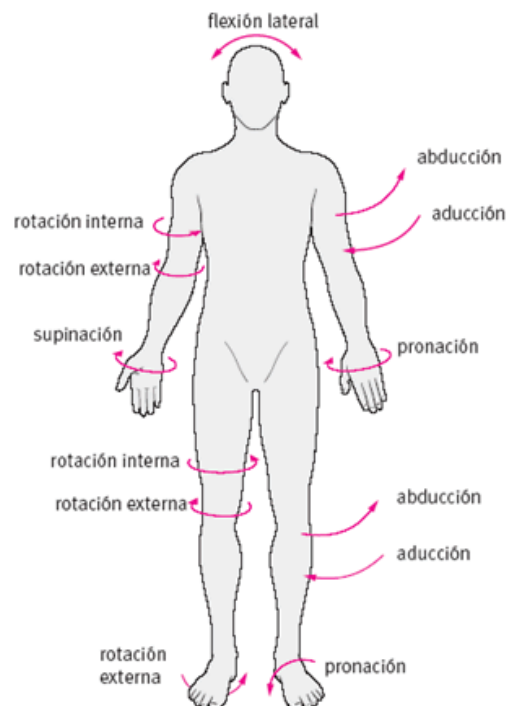


Fig. 4: Movimientos de rotación, abducción, aducción, pronación y supinación

Fuente: <https://blogunidad1.wordpress.com>

8.3. Articulaciones

Las articulaciones son las uniones entre huesos adyacentes. Se encargan además de crear puntos de unión, de dar flexibilidad al esqueleto y permitiendo la producción de movimientos mecánicos.

En el miembro superior se tuvieron en cuenta las siguientes articulaciones, que serán de suma importancia en el desarrollo del exoesqueleto, limitando el diseño y movimiento posibles a realizar.

- **Articulación del hombro.** Se trata de una articulación esférica que une la cabeza del húmero con la cavidad glenoidea del omoplato. Al ser esta cavidad menor que la cabeza del húmero, el margen de movimiento es amplio.

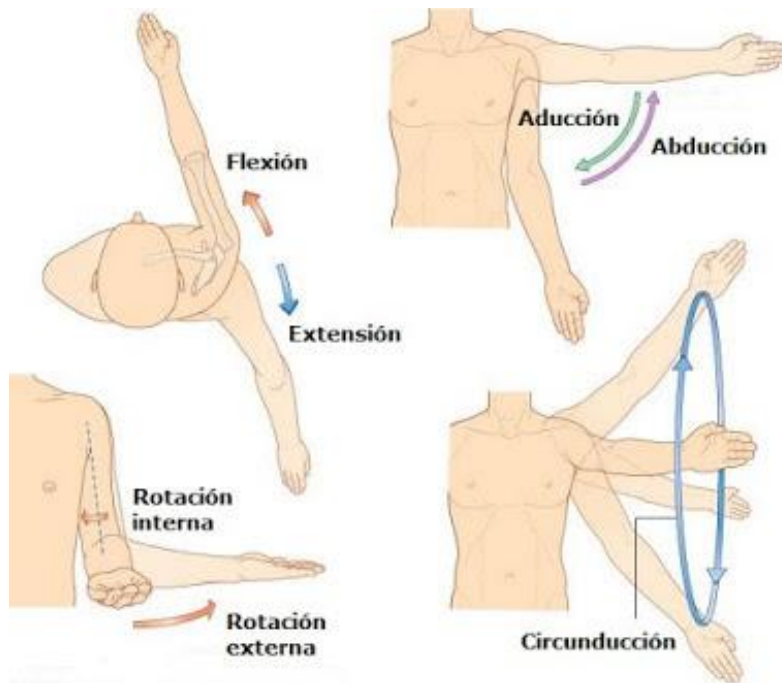


Fig. 5: Movimientos articulación del hombro

Fuente: <http://www.cristinadiazandco.com/>

- **Articulación del codo.** Es una compleja articulación de bisagra que une el extremo distal del húmero y los extremos del cúbito y el radio. La función principal de esta articulación, es la flexión y extensión del antebrazo con respecto al brazo.

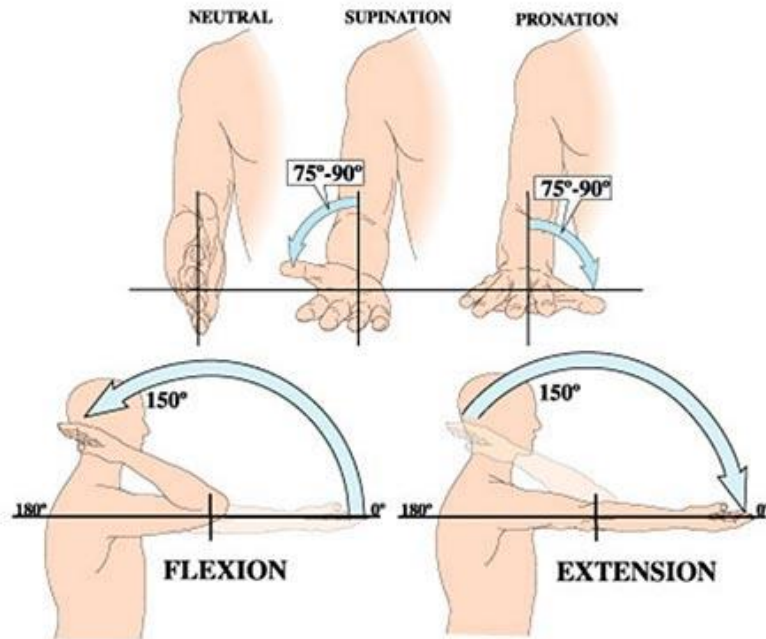


Fig. 6: Movimientos articulación del codo
Fuente: <http://www.lasarticulaciones.com/>

8.4. Grados de Libertad

Con las articulaciones mencionadas anteriormente, el miembro superior constaría de cinco grados de libertad (GDL). Tres de ellos se sitúan en el hombro y otros dos más en el codo.

A continuación se muestra una tabla resumen de los GDL:

Tabla 2: Grados de Libertad del miembro superior
Fuente: Elaboración Propia

Articulación	GDL	Movimiento Asociado
Hombro	3	Flexión y Extensión, Abducción y Aducción, Rotación de Hombro.
Codo	2	Flexión y Extensión, Pronación y Supinación.

8.5. Rangos articulares

Los rangos articulares de cada una de las articulaciones del miembro superior del cuerpo humano, se recogen en las figuras 1 y 2 a continuación.

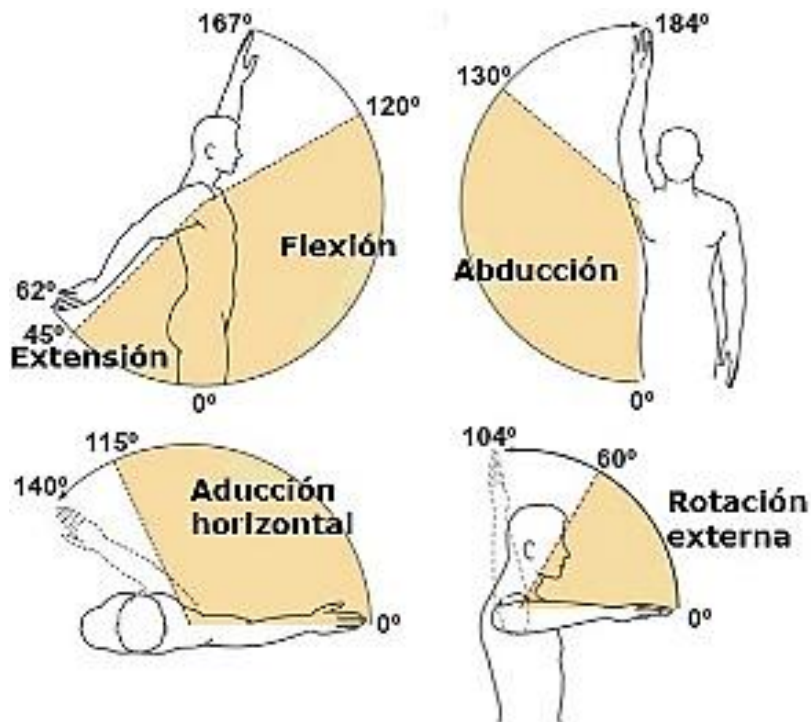


Fig. 7: Rango articular del hombro
Fuente: <http://updates-rehabilitacion.com/>

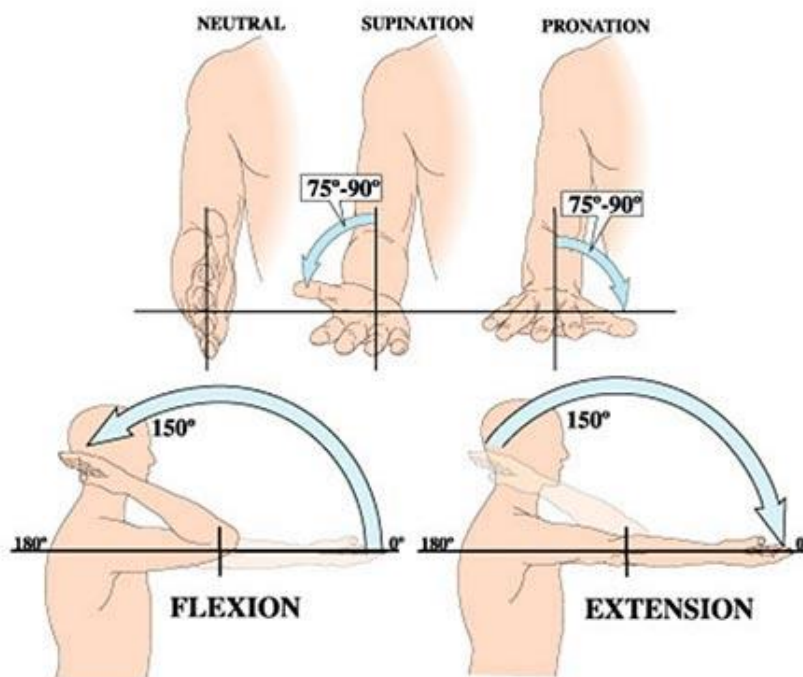


Fig. 8: Rango articular del codo
Fuente: <http://www.lasarticulaciones.com/>

9. Antropometría

La antropometría es la ciencia que estudia las medidas del cuerpo humano, con el fin de establecer diferencias entre individuos, grupos, razas, etc. Estas medidas varían según sexo, edad, nivel socioeconómico, etc.; y esta ciencia encargada de investigar, recopilar y analizar estos datos, es una pieza importante en el diseño de los objetos y espacios arquitectónicos.

Estas medidas se clasifican en:

9.1. Antropometría estática.

Aquella encargada de la toma de medidas con el cuerpo humano en una posición fija y determinada. Éstas son básicas para el diseño. A continuación se puede observar algunas de las medidas antropométricas más usadas:

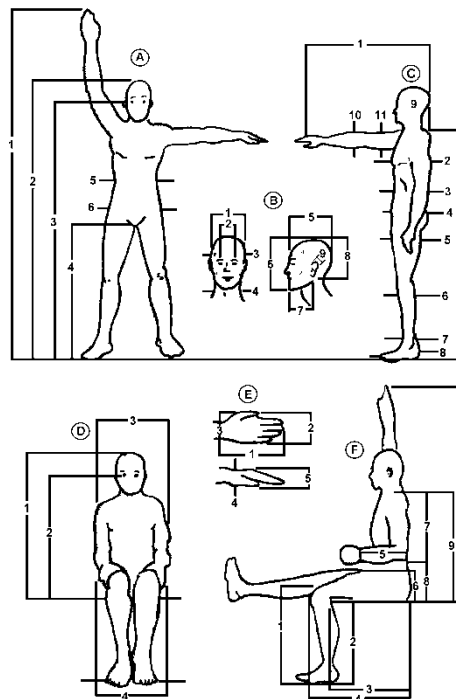


Fig. 9: Medidas antropométricas más empleadas

Fuente: <http://html.rincondelvago.com/>

9.2. Antropometría funcional o dinámica

Son las dimensiones tomadas durante el movimiento realizado por el cuerpo en actividades específicas, teniendo en cuenta el estudio de las articulaciones y suministrando el conocimiento de la función y posibles movimientos de las mismas.

10. Dimensiones antropométricas

Tras un estudio más exhaustivo realizado en el Anexo I con las medidas del cuerpo humano, se ha considerado que los brazos para este exoesqueleto presenten las siguientes medidas y rangos articulares:

Tabla 3: Dimensiones del exoesqueleto
Fuente: Elaboración Propia

Descripción	Medida
Longitud Brazo	400 a 310 mm
Longitud Antebrazo	815 mm
Longitud Conjunto	1215 mm

Tabla 4: Rangos articulares del exoesqueleto
Fuente: Elaboración Propia

Articulación	Movimiento	Rango
Hombro	Aducción	0 a 15°
	Abducción	0 a 15°
	Flexión	-60° a 60°
	Extensión	-60° a 60°
Codo	Flexión	0 a 60°
	Extensión	0 a 60°

11. Requisitos de diseño

Los requisitos establecidos para el diseño de los brazos del exoesqueleto se basan en la carga máxima a soportar, que en este caso será de 50 kilogramos, y el análisis del uso de varios tipos de materiales: el acero, la fibra de carbono y el aluminio.

12. Descripción del diseño

A continuación se describe el diseño inicial realizado para los brazos del exoesqueleto y la evolución del mismo hasta el resultado final. Se comienza describiendo el diseño basado en material de acero y, posteriormente se describe el diseño basado en fibra de carbono y aluminio.

12.1. Diseño en acero

12.1.1. Pieza de agarre

En los extremos de los brazos se dispone de piezas de agarre diseñadas para encajar en los orificios de agarre de las cajas a transportar. Se fabricarán a base de chapas de acero de 5 mm de espesor soldadas. Se sujetarán a los brazos mediante pasadores de 10 mm de diámetro.

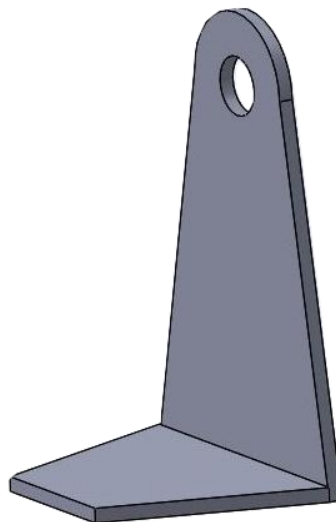


Fig. 10: Pieza de agarre
Fuente: Elaboración Propia

12.1.2. Antebrazo

El diseño inicial se basa en el uso de un tubo de acero calibrado de 40 mm de diámetro externo y 2 mm de espesor. En el extremo donde se sujeta la pieza de agarre tendrá soldada una rótula de doble oreja y en el otro extremo, una rótula de oreja simple para la articulación del codo. Además, dispondrá de una lengüeta para la sujeción de actuador.

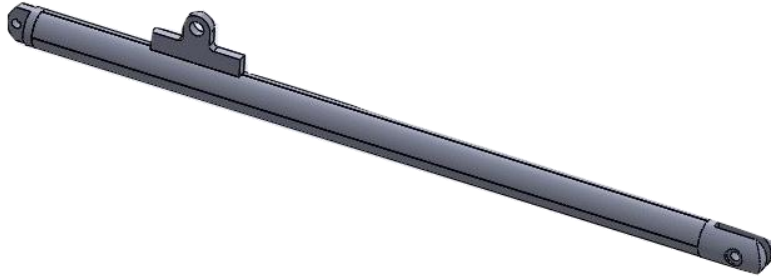


Fig. 11: Antebrazo
Fuente: Elaboración Propia

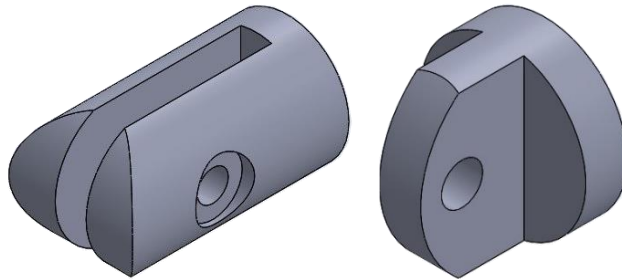


Fig. 12: Detalle rótulas de orejas simple y doble de los extremos
Fuente: Elaboración Propia

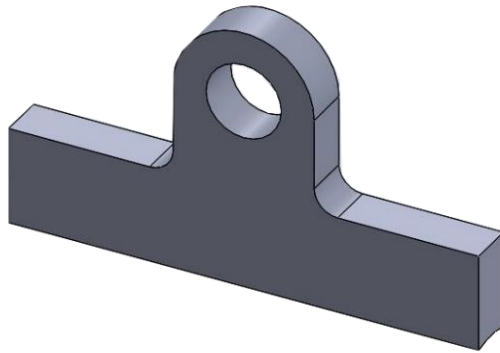


Fig. 13: Detalle del diseño inicial de la lengüeta
Fuente: Elaboración Propia

Una de las mejoras que se proponen tras este diseño inicial es la de suavizar los contornos de la lengüeta cambiando las líneas rectas por curvas, tal y como se muestra en la siguiente figura. Como se podrá ver en el Anejo 3, las tensiones se concentran en las aristas de unión con el antebrazo y en este diseño cuadrado,

parte del material se encuentra en zona de bajas tensiones. De aquí parte la idea de suavizar los contornos, que supone un ahorro de material.

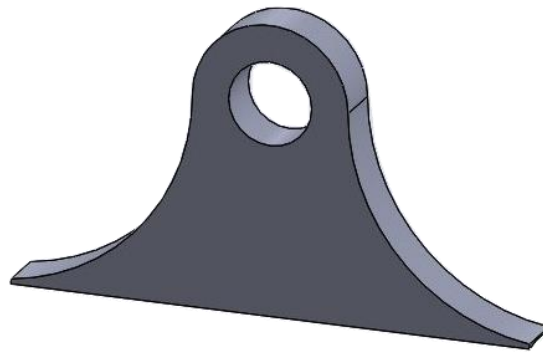


Fig. 14: Diseño final de la lengüeta
Fuente: Elaboración Propia

12.1.3. Empuñadura

Con el fin de sujetar los brazos del exoesqueleto de la manera más ergonómica posible, se ha optado por diseñar un agarre a modo de empuñadura. Tal y como se ha hecho con el resto de componentes del diseño, con el fin de abarcar el mayor rango de usuarios posibles, se ha configurado de la siguiente manera.

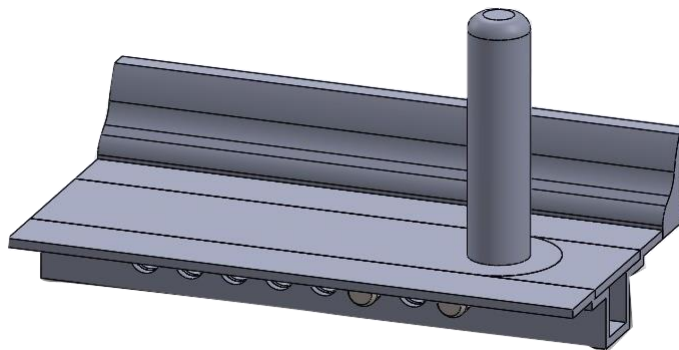


Fig. 15: Sistema empuñadura
Fuente: Elaboración Propia

Consta de una pieza curva que se adapta a la curvatura del tubo que conforma el antebrazo y con una longitud de 190 mm, se ha pretendido que sea lo más ligera posible. Ésta por tanto, deberá ir soldada al antebrazo y será la encargada de soportar todo el sistema de agarre.

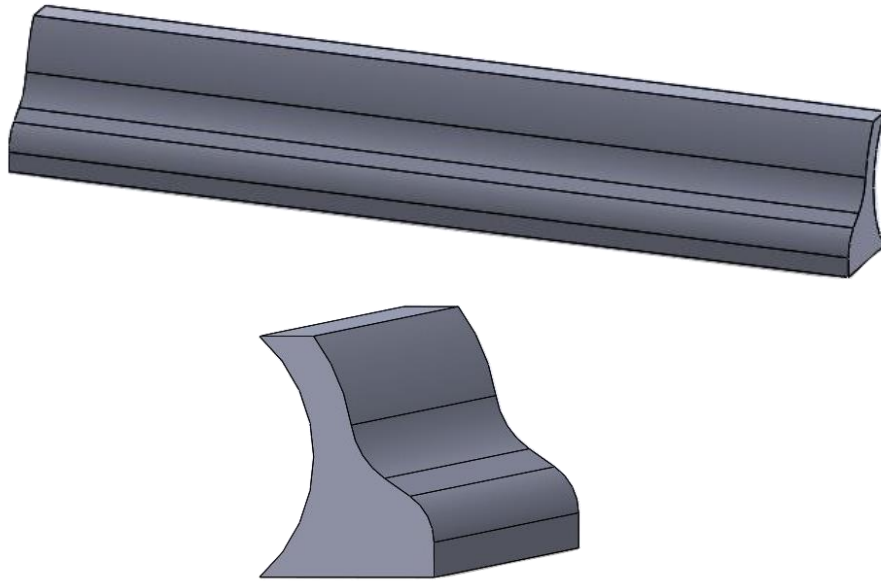


Fig. 16: Detalle pieza unión
Fuente: Elaboración Propia

A esta pieza se le soldará la base del mecanismo de la empuñadura. Presenta una forma de sombrero, con un espesor de 3 mm y una cavidad central de 17 mm de profundidad con una longitud de 190 mm. Sobre esta cavidad se han configurado una serie de orificios circulares para ajustar su longitud mediante pasadores.

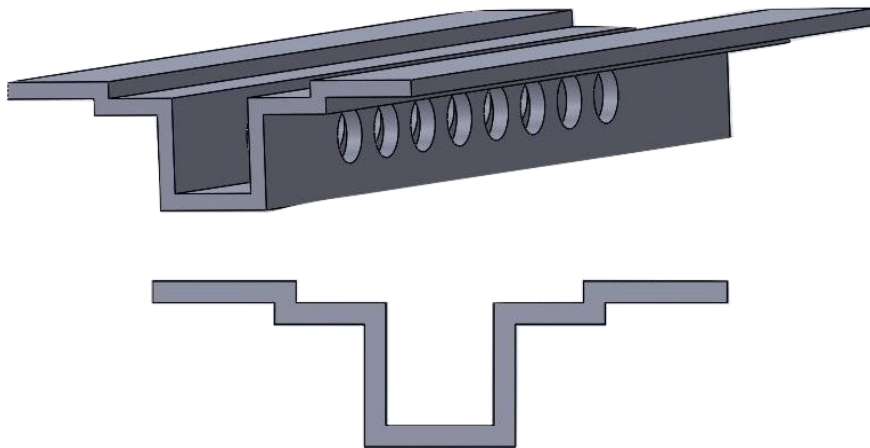


Fig. 17: Detalle base sistema empuñadura
Fuente: Elaboración Propia



Fig. 18: Detalle base sistema empuñadura
Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se encuentra la pieza clave de la empuñadura. Consta de una placa de 3 mm de espesor y una longitud total de 170 mm. Sobre esta se ha soldado la empuñadura de 20 mm de diámetro y 80 mm de altura, concéntrica al extremo circular de 40 mm de diámetro. En la parte inferior se soldara un rail con los orificios circulares correspondientes con la base, sobre la cual se deslizará para adoptar la longitud deseada con los pasadores.

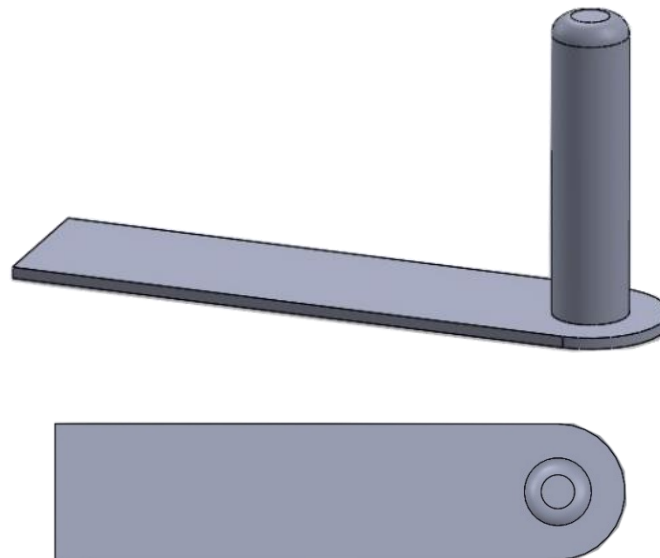


Fig. 19: Detalle empuñadura
Fuente: Elaboración Propia

En cuanto al recorrido, se ha añadido una placa de 3 mm de espesor que corresponda con la silueta de la empuñadura y con un ancho de 20 mm correspondiente al ancho de guía de la base.

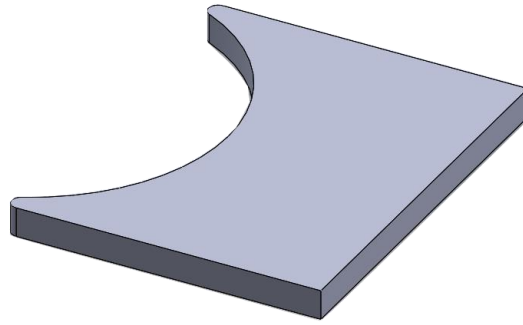


Fig. 20: Detalle tope sistema empuñadura
Fuente: Elaboración Propia

12.1.4. Brazo

Con la idea de adaptar el diseño a las diferentes medidas antropométricas que cubran el mayor porcentaje de la población posible, se propone que el brazo sea extensible. El diseño inicial propuesto se basa en un doble tubo de acero con orificios circulares para ajustar su longitud mediante pasadores.

El tubo exterior tendrá soldada, en uno de sus extremos, una rótula de doble oreja para la articulación del hombro. Además, dispondrá de dos lengüetas (superior e inferior) que servirán de agarre para los actuadores.

El tubo interior también tendrá soldada en uno de sus extremos una rótula de doble oreja que encajará con la rótula de oreja simple del antebrazo para hacer la función del codo. Ambas piezas se unirán mediante un pasador.

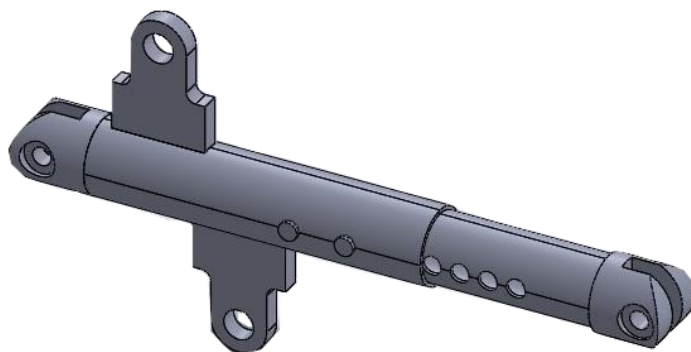


Fig. 21: Brazo
Fuente: Elaboración Propia

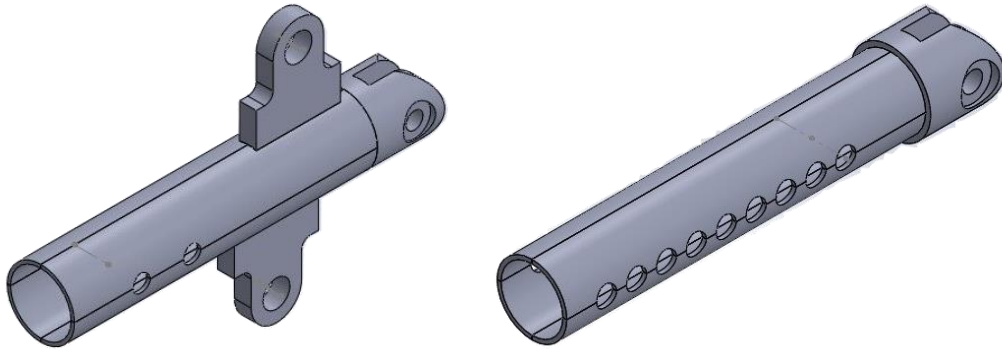


Fig. 22: Pieza exterior (dcha.) e interior (izda.) del brazo
Fuente: Elaboración Propia

12.1.5. Hombro y estructura de giro

El diseño del hombro lleva asociado una estructura de giro necesaria para conseguir los movimientos del brazo deseados: flexión, extensión, abducción y aducción.

Durante la abducción y aducción de los brazos es necesario que el actuador gire a la vez que los brazos, evitando así que exista variación en la carrera del actuador. Para conseguir que esto sea posible se propone el siguiente diseño:

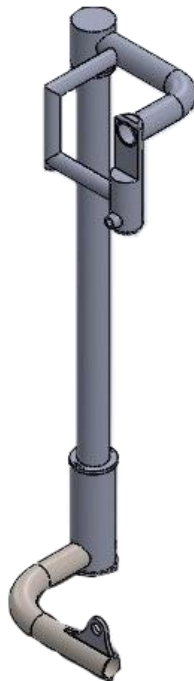


Fig. 23: Hombro y estructura de giro
Fuente: Elaboración Propia

Con este diseño se ha buscado que los giros se produzcan al mismo nivel que los centros de rotación del hombro para la flexión y extensión de los brazos y para la aducción y abducción de los mismos. Consta de una pieza en L en la parte superior unida a la pieza que conecta con el brazo por un lado y, por el otro, soldada a una pieza cilíndrica equipada con un rodamiento que gira sobre un tubo vertical fijo. En la parte inferior del tubo fijo se articula una pieza en L sobre la que se suelda una lengüeta para el agarre del actuador.

La pieza en L del hombro dispone de un refuerzo en L que le da rigidez a la pieza.

12.2. Diseño en fibra de carbono y aluminio

Este diseño está pensado para el uso de una combinación de tubos de fibra de carbono con piezas fabricadas a base de aleación de aluminio. Se ha intentado asemejar este diseño al realizado en acero para poder comparar ambos.

12.2.1. Pieza de agarre

La pieza de agarre tiene un diseño similar a la anterior en acero, con la diferencia de que estará fabricada a partir de placas de aluminio de 10 mm de espesor.

12.2.2. Antebrazo

El antebrazo está constituido por un tubo de fibra de carbono de 50 mm de diámetro y 3 mm de espesor. En los extremos irán pegadas las rótulas hechas a base de aluminio y en la zona central un conjunto anilla - lengüeta para la sujeción del actuador.

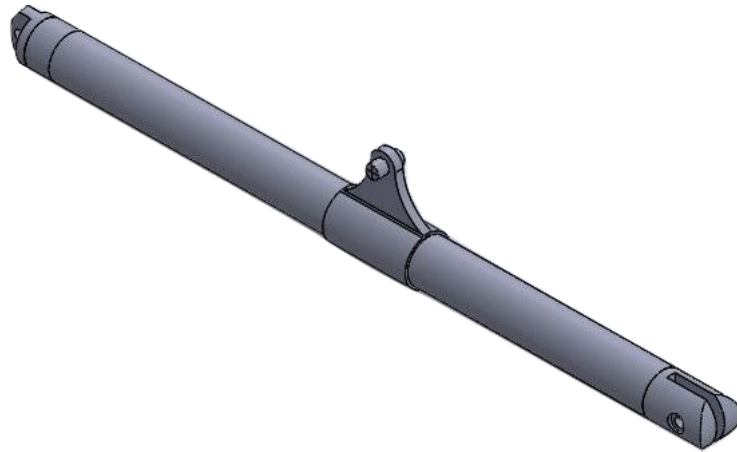


Fig. 24: Antebrazo
Fuente: Elaboración Propia

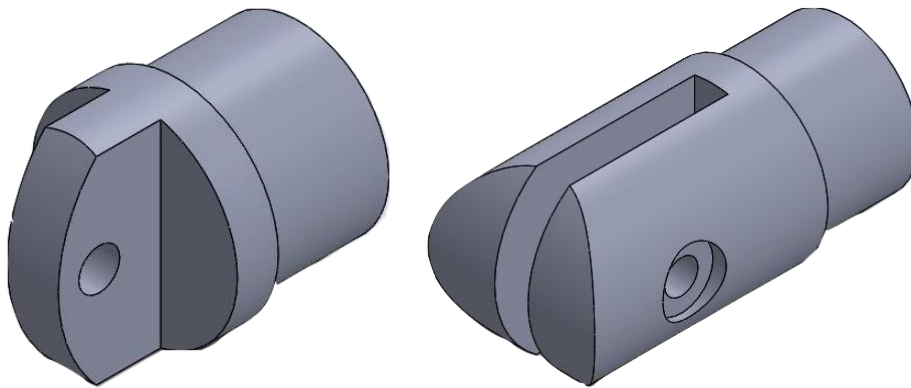


Fig. 25: Detalle rótulas
Fuente: Elaboración Propia

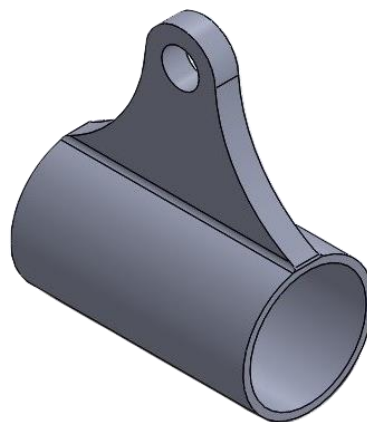


Fig. 26: Detalle conjunto anilla-lengüeta
Fuente: Elaboración Propia

12.2.3. Brazo

El brazo estará formado por dos tubos de fibra de carbono concéntricos de 50 mm y 45 mm de diámetro respectivamente. En los extremos dispondrá de las rótulas para las articulaciones, estando la correspondiente al hombro formando parte de una anilla de aluminio sobre la que se sueldan las lengüetas para los actuadores.

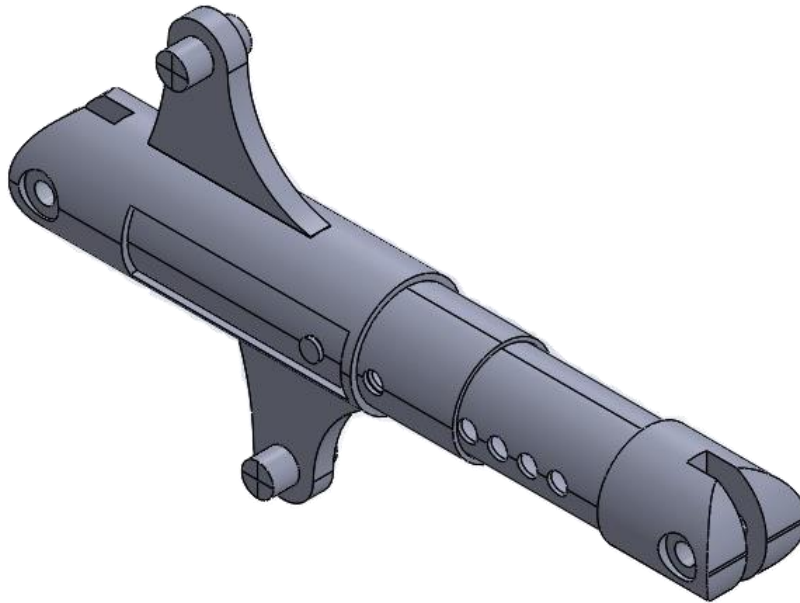


Fig. 27: Brazo
Fuente: Elaboración Propia

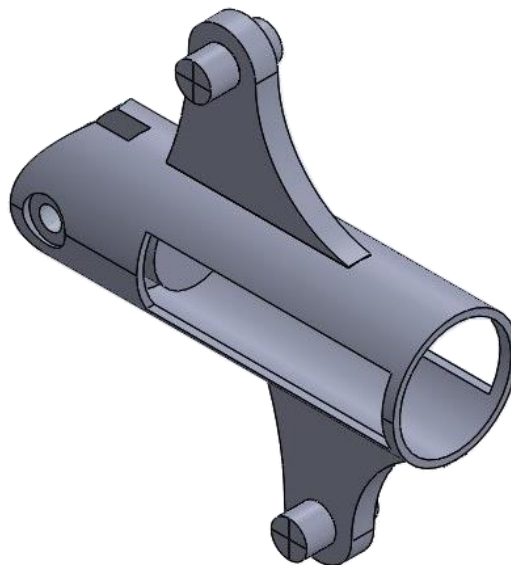


Fig. 28: Detalle conjunto anilla-lengüetas
Fuente: Elaboración Propia

12.2.4. Hombro y estructura de giro

El conjunto hombro y estructura de giro tiene un diseño similar al anterior y donde se ha utilizado una combinación de tubos de fibra de carbono y piezas fabricadas en aluminio.

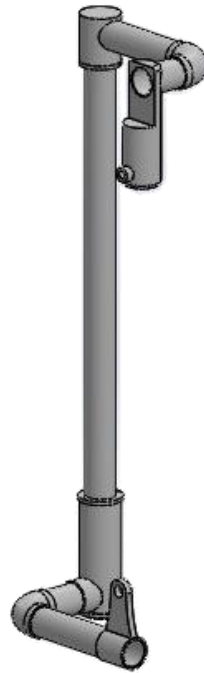


Fig. 29: Hombro y estructura de giro
Fuente: Elaboración Propia

Las piezas en L están formadas por tubos de fibra de carbono pegados a un codo de aluminio. La pieza soporte del brazo, las piezas de giro y el conjunto lengüeta –anillo están ideadas para ser fabricadas en aluminio. El tubo vertical será de fibra de carbono.

10.3 Actuadores analizados

Para la elección del actuador que mejor se adapte a los diseños propuestos se han analizado dos modelos de la marca SKF: CAR 40 y CAHB-21.

10.3.1 SKF CAR 40

La gama de actuadores CAR de SKF es de tipo industrial e incorpora bolas de tornillo de alta eficiencia, una robusta caja reductora y motores de alta calidad. El modelo CAR 40 dispone de una versión con carga de empuje de 4000 N, cuyas características técnicas se muestran a continuación:

Tabla 5: Datos técnicos del actuador SKF CAHB-21Fuente: <http://www.skf.com/>

Parámetro	Valor
Carga de empuje	4000 N
Carga de tracción	4000 N
Velocidad	28 – 20 mm/s
Carrera	200 mm
Voltaje	24 V
Intensidad	16 A
Peso	7,0 kg

**Fig. 30:** Actuador lineal SKF CAR 40Fuente: <http://www.skf.com/>

10.3.2 SKF CAHB-21

La serie CAHB de la marca SKF está fabricada con robustos engranajes metálicos y soportes resistentes a la corrosión. El modelo CAHB-21 se utiliza para aplicaciones con cargas medianas y pesadas, pudiendo llegar a los 4500 N de empuje. Se trata de un modelo con autofijación, poco mantenimiento y con calificación IP 66.

Los datos técnicos del modelo CAHB-21 seleccionado son los que se muestran a continuación:

Tabla 6: Datos técnicos del actuador SKF CAHB-21
Fuente: <http://www.skf.com/>

Parámetro	Valor
Carga de empuje	4500 N
Carga de tracción	4500 N
Velocidad	14 – 19 mm/s
Carrera	204 mm
Voltaje	24 V
Intensidad	6,5 A
Peso	4,5 kg



Fig. 31: Actuador lineal SKF CAHB-21
Fuente: <http://www.skf.com/>

10.3.3 Comparación

Ambos actuadores se adaptan bien a las necesidades del diseño propuesto. El actuador CAR 40 es más robusto y alcanza mayores velocidades. En cambio, el modelo CAHB-21 tiene un menor consumo eléctrico y es capaz de alcanzar una carga de empuje/tracción de 4500 N. Además de ello, el modelo CAHB-21 presenta un peso y coste más reducido.

A la vista de la comparativa y en detrimento de la velocidad de actuación, se selecciona como actuador más idóneo el modelo **CAHB-21**.

13. Resultados finales

El diseño final de los brazos del exoesqueleto ha sido resultado de un largo proceso iterativo, tal y como se ha descrito en los apartados anteriores, donde se han reflejado los cambios realizados respecto al diseño inicial. Se muestra a continuación un prototipo del exoesqueleto a cuerpo completo, donde el resto del conjunto se trata de un croquis o idea inicial de lo deseado, ya que no se disponía del modelo final en el momento de finalizar el presente trabajo.

13.1 Prototipo con brazos de acero

En las siguientes imágenes se puede observar el funcionamiento principal deseado, donde el usuario se ubicaría sentado en una posición ergonómica para evitar posibles lesiones, uno de los problemas principales por los que se ha propuesto diseñar este exoesqueleto. Los brazos del usuario se situarían sobre las empuñaduras permitiendo controlar los movimientos correspondientes para la carga y descarga de cajas ligeras.



Fig. 32: Exoesqueleto a cuerpo completo con brazos en acero

Fuente: Elaboración Propia



Fig. 33: Vista frontal y posterior exoesqueleto completo
Fuente: Elaboración Propia



Fig. 34: Vista lateral exoesqueleto completo
Fuente: Elaboración Propia

13.2 Prototipo con brazos de fibra de carbono y aluminio

En las siguientes imágenes se presenta un prototipo similar, pero con brazos hechos a base de fibra de carbono y aluminio:



Fig. 35: Exoesqueleto a cuerpo completo de FC y Al
Fuente: Elaboración Propia



Fig. 36: Vista frontal y posterior exoesqueleto completo de FC y Al
Fuente: Elaboración Propia



Fig. 37: Vista lateral exoesqueleto completo de FC y Al
Fuente: Elaboración Propia

13.3 Comparativa entre ambos diseños de brazos

La diferencia entre ambos diseños, aparte de los distintos tipos de materiales utilizados, se verá reflejada en el peso total del conjunto y en el tiempo y coste de fabricación.

El diseño a base de fibra de carbono y aluminio tendrá un peso aproximado de unos 4,8 kilogramos. El diseño a base de acero tendrá un peso aproximado de 10,5 kilogramos. Por tanto, el uso de la fibra de carbono supone una reducción del 54% del peso en acero.

Un diseño más ligero, presentará ventajas a la hora de diseñar el resto de la estructura, puesto que la base y columna soportarán menos peso.

En cuanto al proceso de fabricación, el diseño en fibra de carbono y aluminio supone un mecanizado menos costoso y un ensamblaje de las piezas mucho más fácil. Las piezas en acero requerirán un tiempo de mecanizado mayor, además de la necesidad de su unión mediante soldadura, lo que complica algo más el proceso de fabricación.

Los costes de materiales y fabricación de ambos diseños, sin considerar los actuadores, rondan los **1000 €** para el acero y los **1500 €** para la fibra de carbono y el aluminio.

14. Conclusions

Differences between the two model designs of exoskeleton arm are based on weight, cost and manufacturing.

The model made of steel is 54% heavier than the model made of carbon fiber and aluminum. The use of a carbon fiber and aluminum model would imply an important weight reduction of the exoskeleton.

Apart from that, manufacturing of a model made on carbon fiber and aluminum is easier. Aluminum machining require less time than steel machining. In this case, joining of parts is made with glue. In contrast, joining steel parts require welding.

Regarding costs, steel model manufacturing is cheaper because of the high prices of carbon fiber tubes comparing with steel tubes.

Taking into account the advantages of the carbon fiber and aluminum model, this is our choice.



Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología
Sección de Ingeniería Industrial

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

ANEXO 1. ANTROPOMETRÍA

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOESQUELETO PARA
CARGAS LIGERAS: BRAZOS**

Autores:

**Kevin Eduardo Caraballo Grillo
José Feliciano Gutiérrez González**

Julio 2015

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Dimensiones antropométricas consideradas.....	3
3. Datos antropométricos.....	6
4. Dimensiones del exoesqueleto	7
4.1. Antebrazo.....	8
4.2. Brazo	9
5. Límites articulares.....	9

1. Introducción

El disponer de datos antropométricos de una población determinada, para su aplicación al diseño de equipos y dispositivos que hayan de ser empleados por las personas que la componen, es esencial para que estos elementos estén convenientemente adaptados al uso que se espere de ellos. La adaptación ergonómica a los usuarios potenciales no solo contribuye a su eficacia funcional sino también a incrementar la seguridad y bienestar de estos usuarios.

El estudio mostrado en este Trabajo Final de Grado, responde al desarrollo del proyecto nacional INSHT/PN 543 para el establecimiento de una base de datos antropométricos de la población española, del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), tras la comparativa con la recopilación de datos de la población brasileña proporcionada por los autores Filisberto y Paschoarelli, Iida y Panero y Zelnik.

Los datos ofrecidos por el INSHT son perfectamente utilizables ya que han sido sometidos al tratamiento apropiado y contrastado con otras bases de datos internacionales e incluso, utilizados para contribuir a elaborar la información contenida en las normas internacionales UNE EN ISO 7250:1998 y UNE EN 547-3:1997.

Las medidas fueron tomadas durante un periodo comprendido entre junio de 1991 y diciembre de 1996. Durante 1997 y 1998 se efectuó un proceso de verificación y análisis estadístico que se estima apropiado. En febrero de 1999 se establecieron los resultados definitivos.

2. Dimensiones antropométricas consideradas.

En este apartado se relacionan las dimensiones antropométricas consideradas en el diseño del exoesqueleto, junto con una definición breve de ellas.

- **Altura de los hombros (Sentado).** Distancia vertical desde la superficie horizontal de asiento hasta el punto más elevado del acromion.

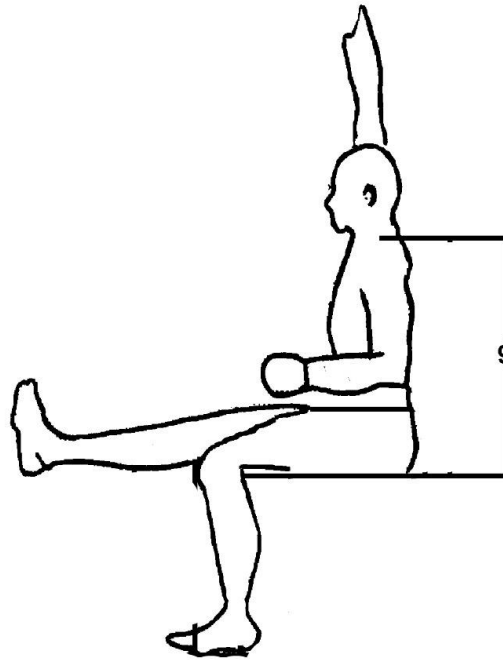


Fig. 1: Altura hombro

Fuente: <http://html.rincondelvago.com/>

- **Alcance máximo horizontal (puño cerrado).** Distancia horizontal desde una superficie vertical hasta el eje del puño de la mano, mientras el sujeto apoya ambos omóplatos contra la superficie vertical.

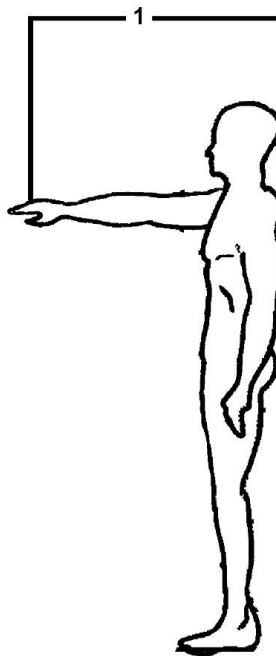


Fig. 2: Alcance máximo horizontal

Fuente: <http://html.rincondelvago.com/>

- **Longitud hombro-codo.** Distancia vertical desde el acromion hasta el punto más bajo del codo flexionado en ángulo recto, con el antebrazo horizontal.

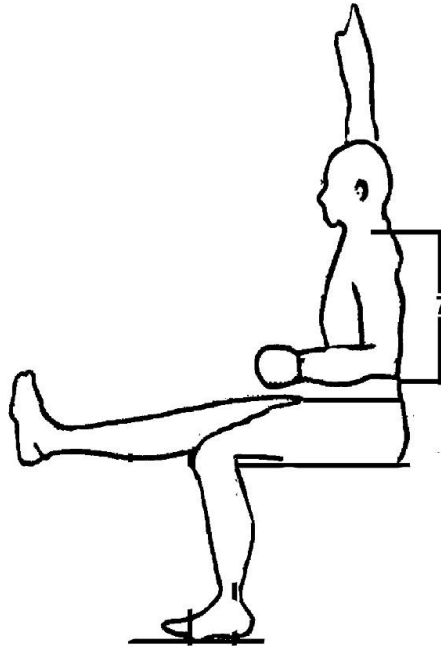


Fig. 3: Longitud hombro-codo
Fuente: <http://html.rincondelvago.com/>

- **Longitud codo-puño.** Distancia horizontal desde la parte posterior del brazo (a la altura del codo) hasta el eje del puño, el codo flexionado en ángulo recto.

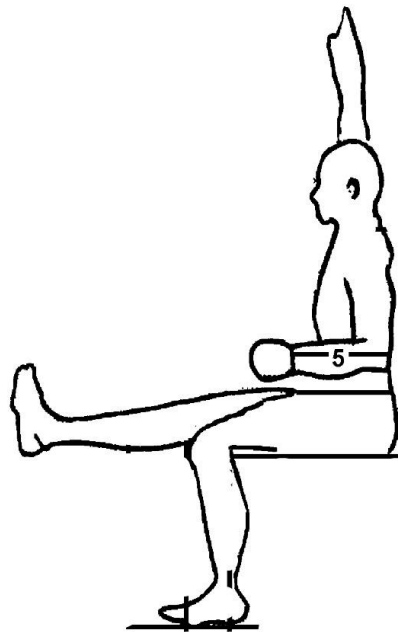


Fig. 4: Longitud codo-puño
Fuente: <http://html.rincondelvago.com/>

- **Longitud codo-punta de los dedos.** Distancia horizontal desde la parte posterior del brazo (a la altura del codo) hasta la punta de los dedos, el codo flexionado en ángulo recto.

3. Datos antropométricos.

Las tablas que siguen a continuación contienen un resumen de los datos antropométricos de la población laboral española. Para su aplicación al diseño y proyecto de equipos y puestos de trabajo, en general se emplean los datos correspondientes a la población conjunta.

En este caso, al partir de los datos de la población brasileña mostrada por separado y tras realizar la comparativa con la población española, y observar que hay posibilidades de extrapolación de las medidas del diseño, se recopilarán únicamente los datos antropométricos correspondientes a los hombres.

Estas dimensiones, en su inmensa mayor parte, coinciden con las incluidas en la norma UNE EN ISO 7250:1998.

Tabla 1: Datos antropométricos en mm de la población española (Hombres)

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)

Ref.	Designación	Media	Percentiles				
			1%	5%	50%	95%	99%
5	Altura de los hombros (Sentado)	590,36	524	543	589	640	664
10	Alcance máximo horizontal (Puño cerrado)	718,36	588	632	720	796	825
11	Longitud hombro-codo (Sentado)	365,05	305	328	366	399	412
13	Longitud codo-puño	346,45	297	312	347	380	394
14	Longitud codo-punta de los dedos.	460,73	401	420	461	501	520

Tabla 2: Datos antropométricos en mm de la población brasileña (Hombres)
Fuente: <http://www.efdeportes.com/>

Ref.	Designación	Percentiles		
		5%	50%	95%
5	Altura de los hombros (Sentado)	540	580	630
10	Alcance máximo horizontal (Mano abierta)	690	760	830
11	Longitud hombro-codo	330	360	400
13	Longitud codo-muñeca	230	250	280
14	Longitud codo-punta de los dedos.	450	490	550

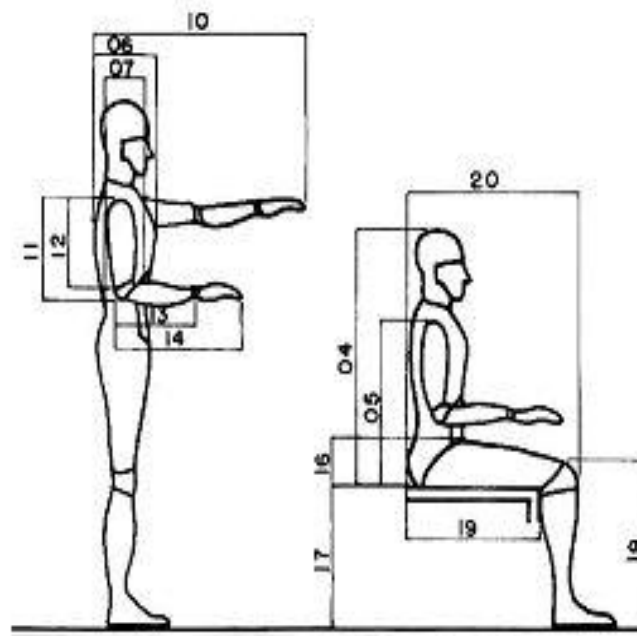


Fig. 5: Referencias antropométricas
Fuente: <http://www.efdeportes.com/>

4. Dimensiones del exoesqueleto

A continuación se describirán las distintas medidas adoptadas para el diseño del brazo del exoesqueleto, a partir de los datos antropométricos adjuntados anteriormente.

4.1. Antebrazo

Con el fin de cumplir el objetivo principal de este proyecto, y poder trasladar las cajas de cargas ligeras desde una cota distinta del suelo hasta éste. Ha sido necesario prolongar la longitud del antebrazo a una distancia muy superior a la de cualquier ser humano.

Para el manejo de este, se ha implementado un sistema de sujeción del antebrazo del exoesqueleto, con el puño del usuario. En este sistema se ha considerado el dato antropométrico: *Longitud codo-puño*. Al querer abarcar al mayor número de usuarios posibles, se ha diseñado un sistema regulable que abarcará un rango de medidas.

Finalmente, las medidas del diseño son:

- **Longitud antebrazo: 815 mm**

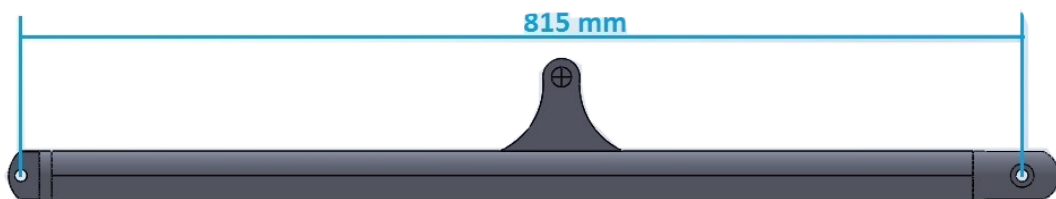


Fig. 6: Longitud antebrazo
Fuente: Elaboración Propia

- **Longitud máxima codo-empuñadura de sujeción: 380 mm**
- **Rango de medidas posibles: 380 a 305 mm**

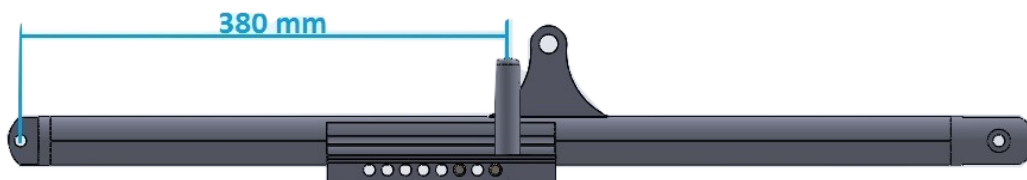


Fig. 7: Longitud codo – empuñadura
Fuente: Elaboración Propia

4.2. Brazo

Al igual que mencionamos anteriormente, se pretende que este exoesqueleto pueda ser utilizado por el mayor número de usuarios posible. Para ello, tomando como referencia el dato antropométrico: *Longitud hombro-codo*, de la población brasileña. Se ha ideado un sistema regulable en la estructura del bíceps, que nos permite abarcar un gran número de usuarios.

Las medidas finales del diseño son:

- **Longitud máxima brazo:** 400 mm
- **Rango de medidas posibles:** 400 a 310 mm

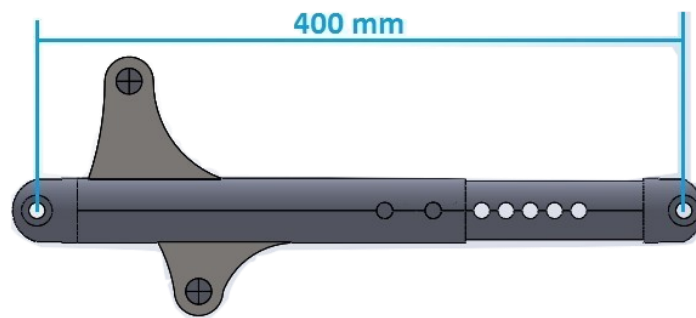


Fig. 8: Longitud brazo
Fuente: Elaboración Propia

5. Límites articulares

En el siguiente apartado se definirán los rangos articulares decididos para el exoesqueleto. Se consideró que los movimientos a ejecutar por las articulaciones sean:

- **Articulación del hombro:** Flexión y Extensión, Aducción y Abducción.
- **Articulación del codo:** Flexión y Extensión.

Para los movimientos mencionados, los rangos seleccionados han sido los siguientes:

Tabla 1: Rangos Articulares del Exoesqueleto
Fuente: Elaboración Propia

Articulación	Movimiento	Rango
Hombro	Aducción	0 a 15°
	Abducción	0 a 15°
	Flexión	0 a 60°
	Extensión	0 a 60°
Codo	Flexión	0 a 60°
	Extensión	0 a 60°

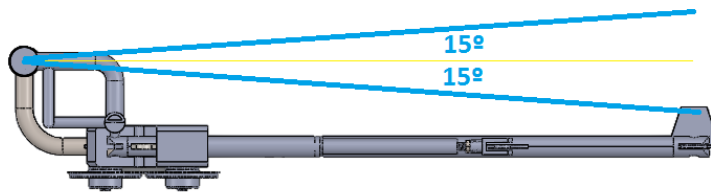


Fig. 9: Rango movimientos: Aducción y Abducción
Fuente: Elaboración Propia

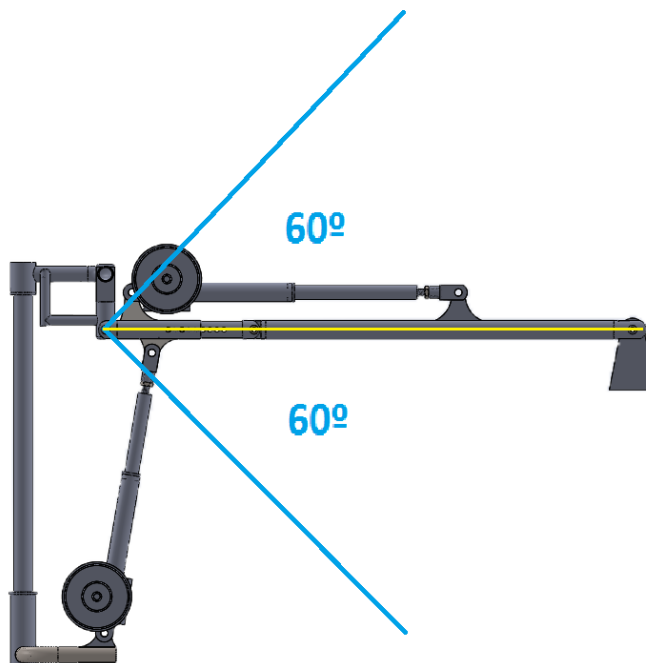


Fig. 10: Rango Flexión y Extensión del hombro
Fuente: Elaboración Propia

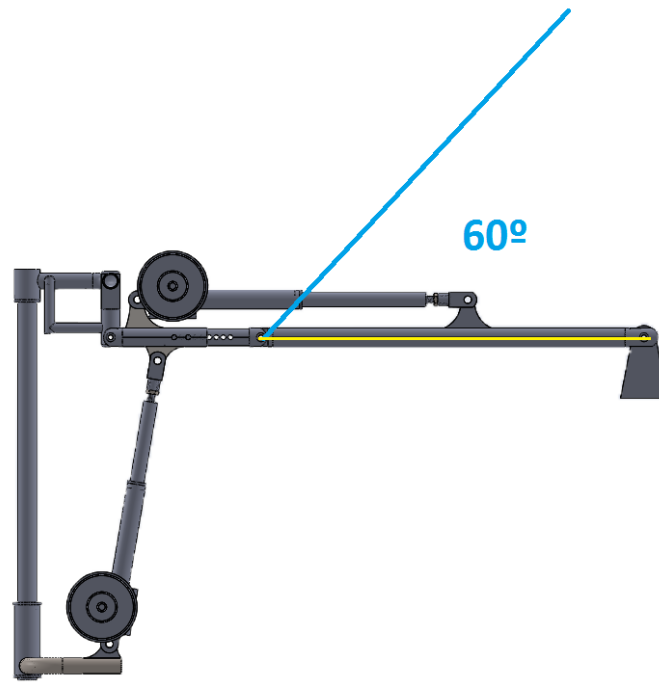


Fig. 10: Rango Flexión y Extensión del codo
Fuente: Elaboración Propia



Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología
Sección de Ingeniería Industrial

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

ANEXO 2. CÁLCULOS PREVIOS

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO MECÁNICO UN EXOESQUELETO PARA CARGAS
LIGERAS: BRAZOS**

Autores:

**Kevin Eduardo Caraballo Grillo
José Feliciano Gutiérrez González**

Julio 2015

ÍNDICE

1.	Introducción	3
2.	Cálculo de las fuerzas de los actuadores	3
2.1.	Actuador 1.....	4
2.1.1.	Datos de partida	5
2.1.2.	Resultados	5
2.2.	Actuador 2.....	6
2.2.1.	Datos de partida	7
2.2.2.	Resultados	7
2.3	Actuadores recomendados	8
3.	Estimación de la carrera de los actuadores, velocidad y distancias	8
3.1	Actuador 1	8
3.1.1	Brazo más largo (400 + 815 mm).....	9
3.1.1	Brazo más corto (310 + 815 mm)	11
3.2	Actuador 2	12
3.1.1	Brazo más largo (400 + 815 mm).....	12
3.1.1	Brazo más corto (310 + 815 mm)	14
3.3	Tabla resumen	15
4.	Estimación de la sección de material	16
3.2	Antebrazo	17
3.2.1.	Resultados	18
3.3	Brazo	19
3.2.1.	Resultados	19
5.	Cálculo del diámetro mínimo de los pasadores	20
6.	Soldadura.....	21
7.	Pegamento.....	23

1. Introducción

En el presente documento se detallan los cálculos previos para el prediseño de los brazos del exoesqueleto. Se calculan las fuerzas y carreras necesarias para los actuadores, así como las velocidades con las que se elevan y descienden las cargas. Por otro lado, se estima el diámetro de los tubos y pasadores necesarios. Por último se calcula el espesor de los cordones de soldadura aplicar en el modelo en acero y el pegamento necesario a aplicar en el modelo de fibra de carbono y aluminio.

2. Cálculo de las fuerzas de los actuadores

Los movimientos del brazo se realizarán a partir de dos actuadores. El actuador 1 será el encargado de realizar el movimiento de flexión y extensión del codo, de manera que el antebrazo se eleve desde la posición horizontal. El actuador 2 será el encargado del movimiento de rotación del hombro que permite la elevación o descenso del brazo.

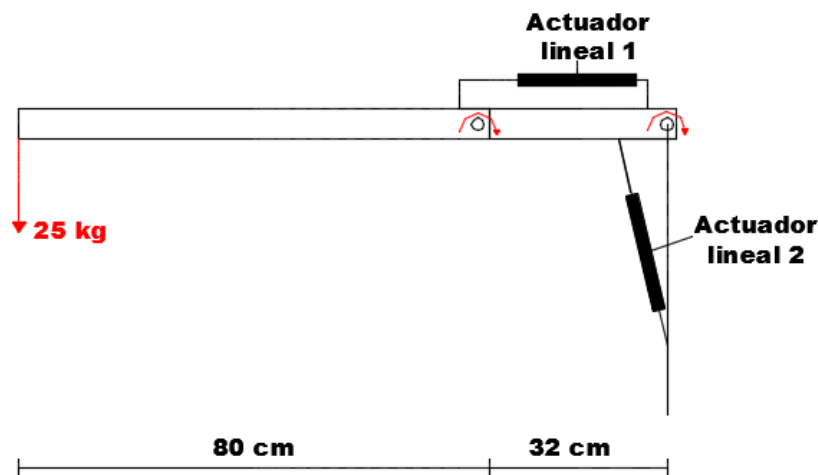


Fig. 1: Representación esquemática de uno de los brazos del exoesqueleto
Fuente: Elaboración Propia

Los siguientes cálculos se han realizado suponiendo una carga total de 50 Kg, considerando para cada brazo una carga de 25 Kg.

Las fuerzas necesarias para ambos actuadores se determinan a partir de un análisis estático de fuerzas en diferentes posiciones.

2.1. Actuador 1

Para determinar la fuerza del actuador 1 sólo se ha considerado en el análisis la parte del antebrazo, tal y como se muestra en la siguiente figura:

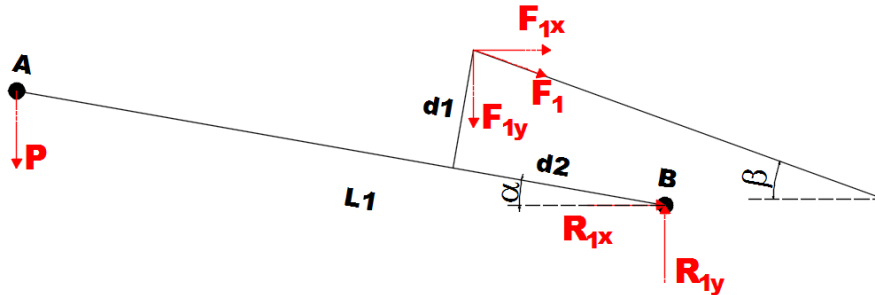


Fig. 2: Análisis de fuerzas en el antebrazo

Fuente: Elaboración Propia

En este análisis no se considera inicialmente el peso propio de la estructura del brazo.

El punto A es el de aplicación de la carga y B se considera un apoyo fijo. El actuador, para elevar el antebrazo aplicará una fuerza F_1 en un punto que estará a una distancia d_1 del eje del antebrazo. La distancia en horizontal entre el punto de aplicación de la fuerza y el punto de apoyo B es d_2 .

Teniendo en cuenta que:

$$\sum F_{\text{horizontales}} = 0$$

$$\sum F_{\text{verticales}} = 0$$

$$\sum M_B = 0$$

Se llega a las siguientes expresiones:

$$F_1 = \frac{P \cdot L_1 \cdot \cos\alpha}{\cos(\beta) \cdot (d_1 \cdot \cos\alpha + (d_2 - d_1 \cdot \text{sen}\alpha) \cdot \text{sen}\alpha) - \text{sen}\beta \cdot (d_2 - d_1 \cdot \text{sen}\alpha) \cdot \cos\alpha}$$

$$R_{1X} = -F_1 \cdot \cos\beta$$

$$R_{1Y} = P + F_1 \cdot \text{sen}\beta$$

Mediante un estudio de posiciones se determina la relación entre los ángulos α y β , así como la carrera necesaria del actuador.

2.1.1. Datos de partida

Se toman los siguientes datos de partida:

Tabla 1: Valores de partida para análisis de fuerzas en antebrazo
Fuente: Elaboración Propia

Parámetro	Valor
P (N)	245
L1 (m)	0,8
d1 (m)	0,220
d2 (m)	0,343

2.1.2. Resultados

Se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 2: Resultados del análisis de fuerzas en antebrazo
Fuente: Elaboración Propia

α (°)	β (°)	F1 (N)	R1x (N)	R1y (N)
0	0	2495,9	2495,9	245
15	6	1785,4	1775,6	431,6
30	11	1365,8	1340,7	505,6
45	17	1079,3	1032,1	560,5
60	21	755,2	705,1	515,7
75	25	403,4	365,6	415,5
90	28	0,00	0,0	245

Cómo cabía esperar, la posición horizontal es la más desfavorable, puesto que el punto de aplicación de la carga se encuentra más alejado del punto de apoyo y, por tanto, el momento que genera la carga en dicho punto es mayor.

Cómo se puede observar, la fuerza F1 necesaria para mantener el sistema en equilibrio es de 2496 N, que será la fuerza que debe aplicar el actuador. Con la idea de establecer un margen de seguridad de 1,5; se seleccionará un actuador con una fuerza de **4000 N**.

2.2. Actuador 2

Para determinar la fuerza del actuador 2 se realiza el siguiente análisis:

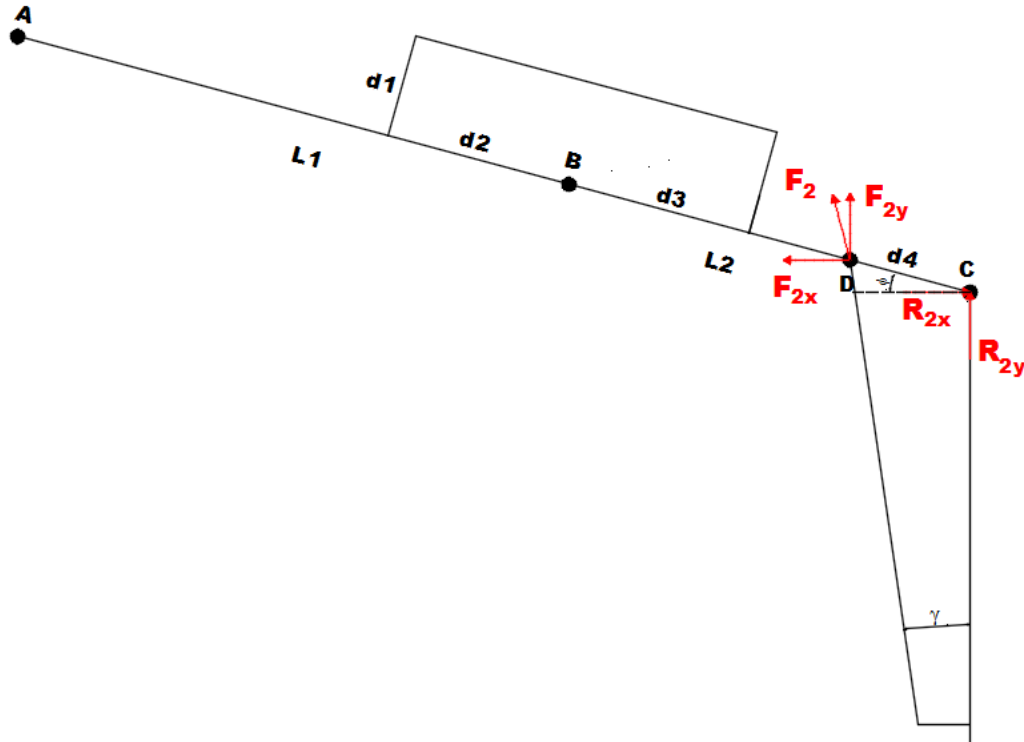


Fig. 3: Análisis de fuerzas en el brazo
Fuente: Elaboración Propia

En este análisis no se considera inicialmente el peso propio de la estructura del brazo.

El punto D es el de aplicación de la carga y C se considera un apoyo fijo. El actuador, para elevar el brazo aplicará una fuerza F2 en un punto que estará a una distancia d4 de punto C.

Teniendo en cuenta que:

$$\sum F_{\text{horizontales}} = 0$$

$$\sum F_{\text{verticales}} = 0$$

$$\sum M_c = 0$$

Se llega a las siguientes expresiones:

$$F_2 = \frac{P \cdot (L1 + L2) \cdot \cos(\Phi)}{d4 \cdot \cos \gamma - d4 \cdot \text{sen} \gamma \cdot \text{sen} \Phi}$$

$$R_{2X} = F_2 \cdot \text{sen} \gamma$$

$$R_{2Y} = P + F_2 \cdot \cos \gamma$$

Mediante un estudio de posiciones se determina la relación entre los ángulos γ y Φ , así como la carrera necesaria del actuador.

2.2.1. Datos de partida

Se toman los siguientes datos de partida:

Tabla 3: Valores de partida para análisis de fuerzas en el brazo

Fuente: Elaboración Propia

Parámetro	Valor
P (N)	245
L1 (m)	0,800
L2 (m)	0,320
d4 (m)	0,100

2.2.2. Resultados

Se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 4: Resultados del análisis de fuerzas en el brazo

Fuente: Elaboración Propia

ϕ (°)	γ (°)	F2 (N)	R2x (N)	R2y (N)
0	11,8	3041,0	621,9	3221,8
15	10,9	3081,7	582,7	3271,1
30	9,3	2845,2	459,8	3052,8
45	7,8	2352,4	319,3	2575,6
60	5,1	1619,5	144,0	1858,0
75	2,6	806,6	36,6	1050,8
90	0	0,0	0,0	245,0

Cómo se puede observar el valor más desfavorable es de 3082 N. Al igual que en el caso anterior, aplicando un factor de seguridad de 1,5 se seleccionará un actuador de **4500 N**.

2.3 Actuadores recomendados

Entre los actuadores existentes en el mercado se recomienda el uso de cualquiera de los siguientes modelos de la marca SKF:

- SKF CAR 40 (4000 N)
- SKF CAHB-21 (4500 N)

Las especificaciones pueden verse en el Anexo 4.

3. Estimación de la carrera de los actuadores, velocidad y distancias que se alcanzan

La carrera de los actuadores dependerá de los ángulos de giro a aplicar en las rótulas y distancias verticales que se quieran alcanzar. Además, la carrera también dependerá del radio de giro entre el punto de aplicación de la fuerza y la rótula, de manera que cuanto menor sea el radio de giro, menor será la carrera necesaria para realizar un mismo recorrido.

3.1 Actuador 1

En el caso del actuador 1 interesa que su colocación sea lo más cercana posible al hombro y además, se debe tener en cuenta que debe contar con una carrera suficiente que cubra además la extensión y retracción del brazo, que se adapta a las diferentes medidas establecidas en el Anexo anterior.

Este actuador inducirá en el antebrazo un movimiento de elevación desde la posición horizontal. Tomando como referencia las medidas del actuador SKF CAR 40 de 200 mm de carrera total y con una longitud totalmente abierto de 663 mm, se obtienen los siguientes resultados para la medida mínima y máxima del brazo.

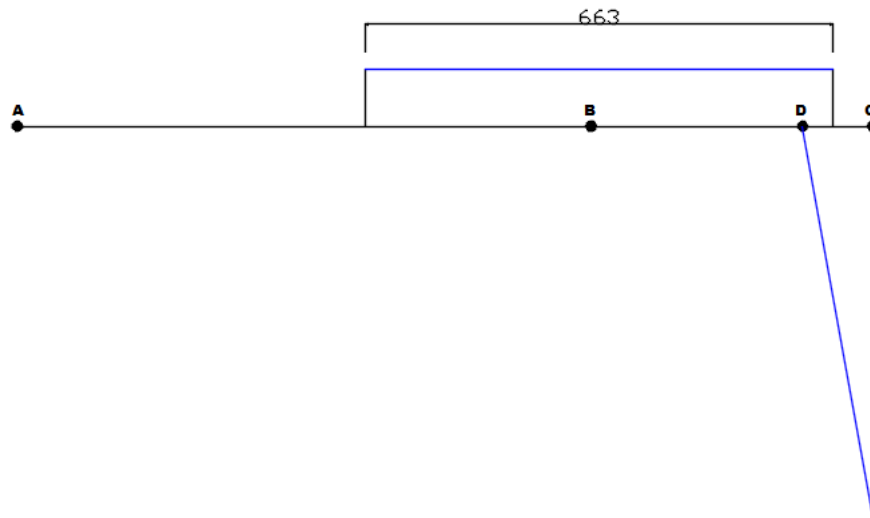
3.1.1 Brazo más largo (400 + 815 mm)

Fig. 4: Longitud actuador
Fuente: Elaboración Propia

Las líneas en azul representan los actuadores, A es el extremo donde se aplica la carga, B es la rótula del codo, C es la rótula del hombro y D es el punto de aplicación de la fuerza del actuador 2.

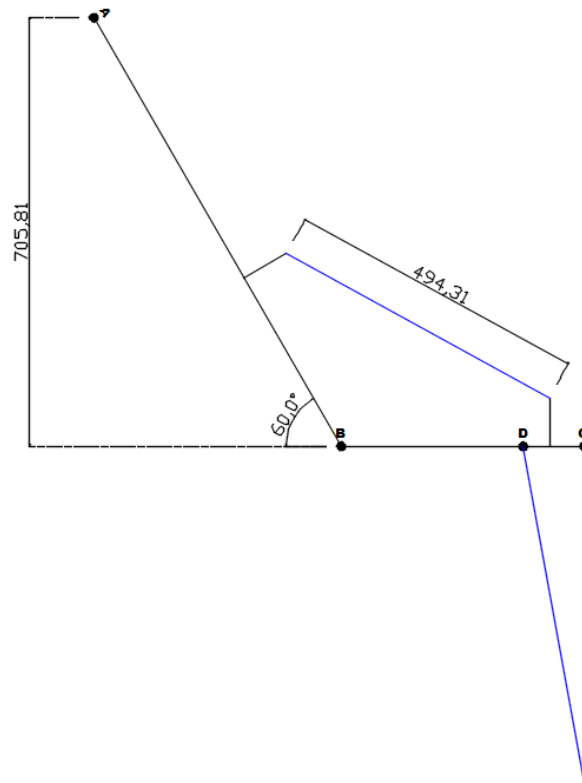


Fig. 5: Ángulo máximo, carrera del actuador y altura máxima alcanzada
Fuente: Elaboración Propia

Para un giro de 60°, es necesaria una carrera de 168,7 mm. Como el actuador dispone de una carrera total de 200 mm, podría llegar a cubrir un giro de 67°, pero este valor no sería válido a efectos prácticos.

La altura que se alcanza, medida desde la altura de los hombros es de unos 70,6 cm.

3.1.1 Brazo más corto (310 + 815 mm)

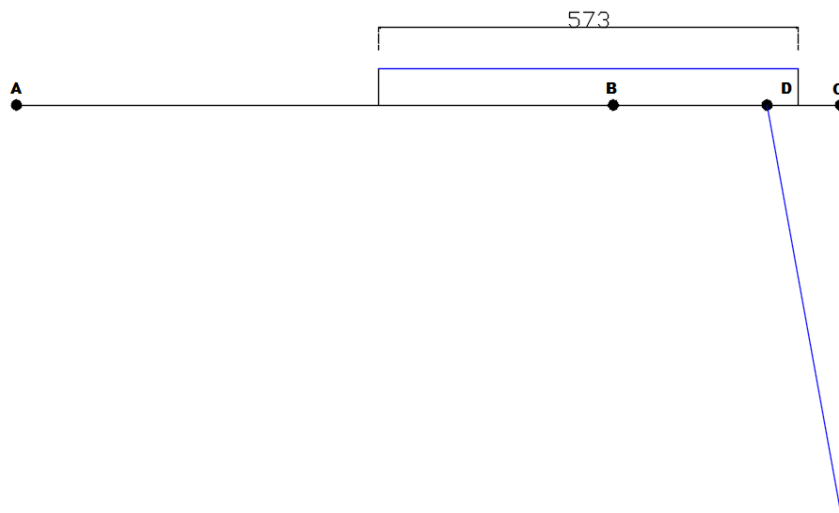


Fig. 6: Longitud actuador
Fuente: Elaboración Propia

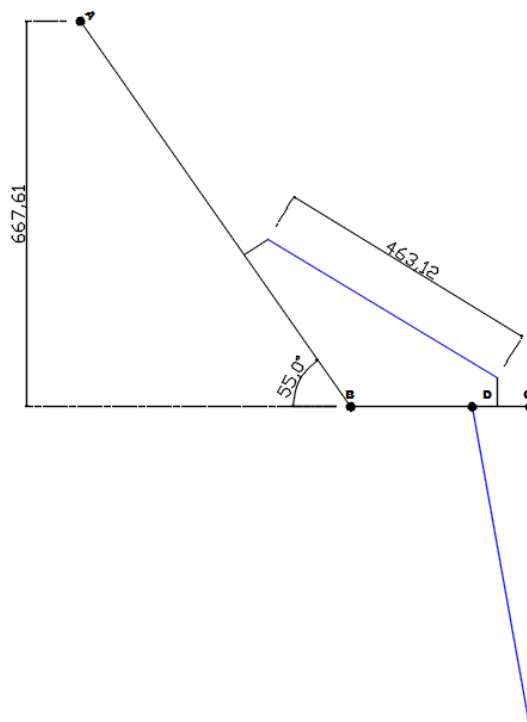


Fig. 7: Ángulo máximo, carrera del actuador y altura máxima alcanzada
Fuente: Elaboración Propia

En este caso, la carrera disponible (110 mm) tras la reducción del brazo hace que el giro máximo sea de 55° y se alcance una altura medida desde el hombro de 66,8 cm.

3.2 Actuador 2

Al igual que en el caso anterior, interesa que el punto de aplicación de la fuerza esté lo más cercana al hombro posible. En este caso se establece una distancia DC de 10 cm.

Este actuador induce un movimiento de elevación y descenso del brazo completo, simulando los movimientos de extensión y flexión del hombro.

3.1.1 Brazo más largo (400 + 815 mm)

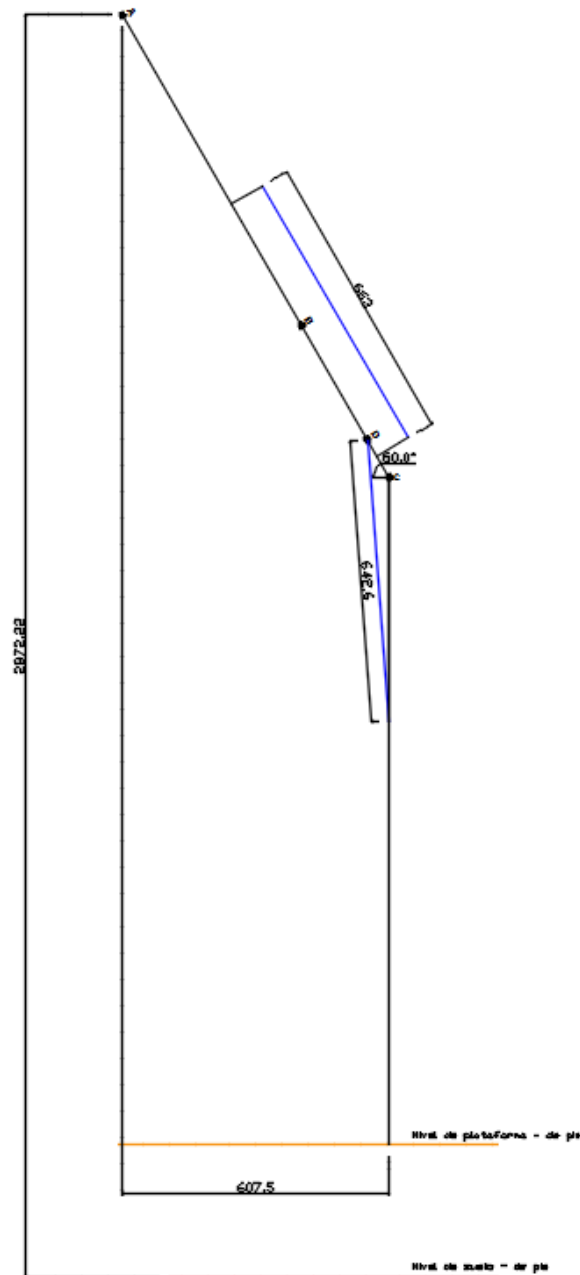


Fig. 8: Ángulo, máximo carrera del actuador y altura máxima alcanzada

Fuente: Elaboración Propia

Considerando un giro de 60° del hombro, el individuo con el brazo más largo podrá alcanzar una altura de unos 2,8 metros medida desde el suelo y considerando una altura de la plataforma de 30 cm.

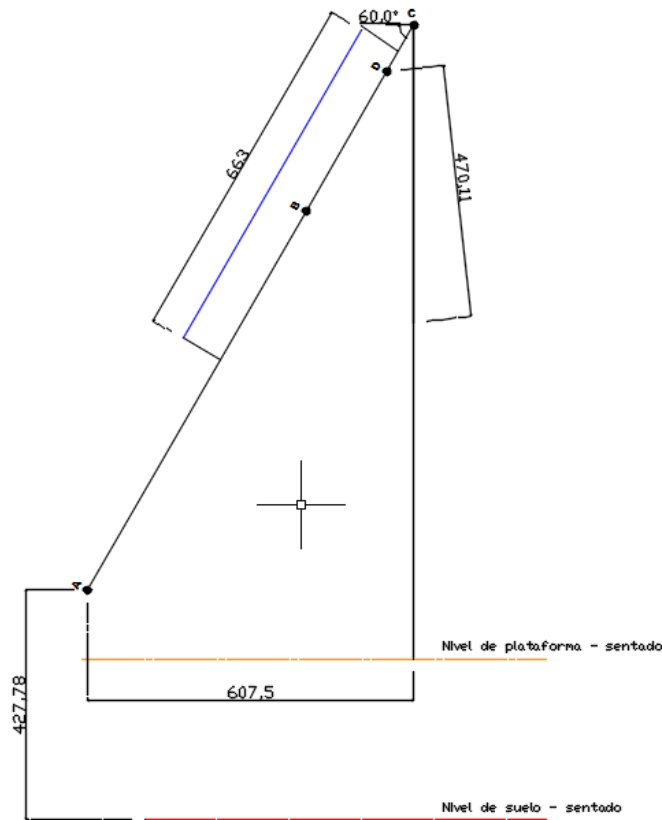


Fig. 9: Ángulo máximo, carrera del actuador y altura mínima alcanzada
Fuente: Elaboración Propia

Al descender la carga, el individuo podrá colocarse en posición sentado sujetando la carga a unos 43 cm del suelo.

Con la idea de acercar el punto de sujeción más al suelo se diseñará una pieza de agarre de 15 cm de altura. Por tanto, podrán ser elevadas cajas de 30 cm de altura mínima.

En este caso el giro se restringe de -60° a 60° con la horizontal para tener en cuenta el ancho de la plataforma, que tendrá un valor mínimo medido desde los hombros hacia delante de 55 a 60 cm.

La carrera del actuador para esta situación es de 172,5 mm.

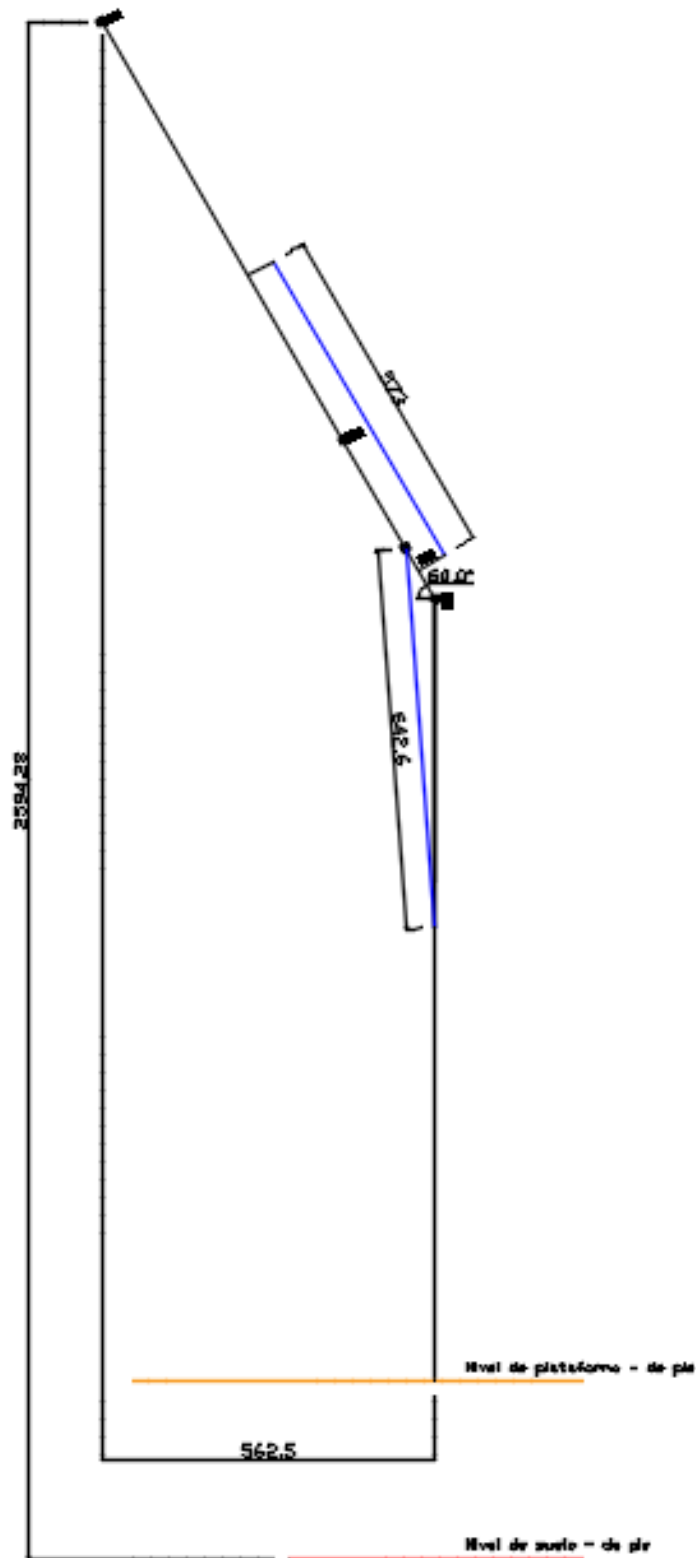
3.1.1 Brazo más corto (310 + 815 mm)

Fig. 10: Ángulo máximo, carrera del actuador y altura máxima alcanzada
Fuente: Elaboración Propia

Con un giro de 60° , la carga podrá ser elevada hasta unos 2,6 metros.

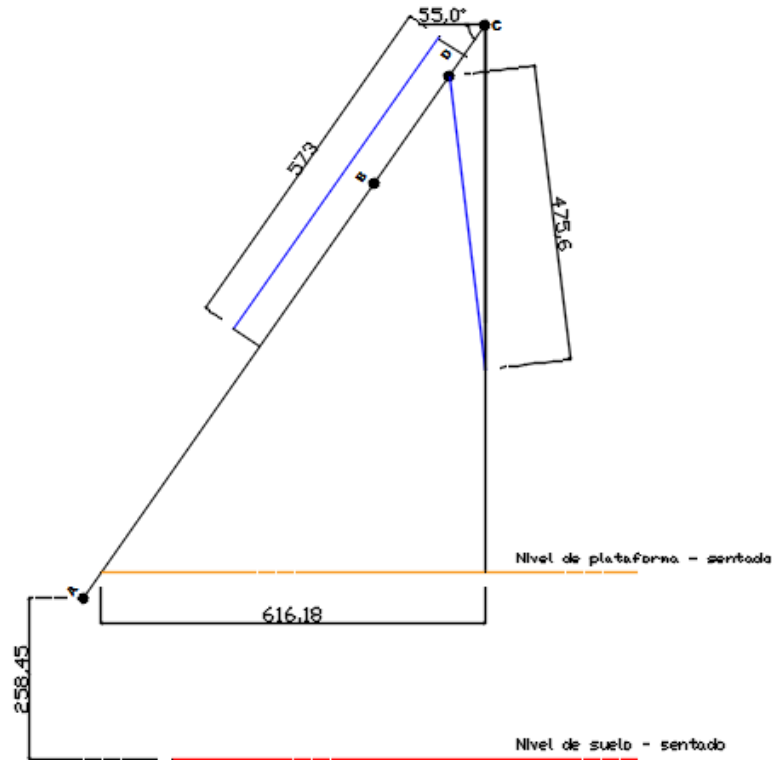


Fig. 11: Ángulo máximo, carrera del actuador y altura mínima alcanzada
Fuente: Elaboración Propia

En este caso se restringe el giro al descender a 55° , pudiendo trabajar con cajas de 11 cm de altura mínima.

La carrera necesaria para el recorrido desde -55° a 60° será de 167 mm.

3.3 Tabla resumen

A continuación se resumen en forma de tabla los datos más relevantes obtenidos a partir de este estudio. Se incluye también una estimación de los tiempos necesarios para los movimientos establecidos y para cada uno de los actuadores recomendados en función de los datos del fabricante.

Tabla 5: Resultados del cálculo de carreras, distancias y tiempos
Fuente: Elaboración Propia

Parámetro	Actuador 1	Actuador 2
Intervalo de carrera	110 – 168,7 mm	167 – 172,5 mm
Rango de giros	0 – 60º	-60º - 60º
Distancia recorrida en vertical	66,8 – 70,6 cm	233,6 – 244,4 cm
Velocidad teórica	25 mm/s (CAR 40)	20 mm/s (CAR 40)
	16 mm/s (CAHB-21)	15 mm/s (CAHB-21)
Tiempo	4,4 – 8,5 s (CAR 40)	8,4 – 8,6 s (CAR 40)
	6,9 – 10,5 s (CAHB-21)	11,1 – 11,5 s (CAHB-21)

4. Estimación de la sección de material

El diseño propuesto para los brazos se basa en el uso de una estructura tubular. Para realizar una primera estimación de la sección necesaria tanto para el antebrazo como el brazo se hace uso del Principio de Von Mises para la tensión equivalente. En este caso, la estructura se encuentra sometida a flexión y torsión conjunta, de manera que:

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{2 \cdot \left(\left| \frac{Mf}{Wf} \right| + \left| \frac{N}{A} \right| \right)^2 + 6 \cdot \left(\frac{Mt}{Wp} \right)^2} \leq \sigma_{adm}$$

Siendo:

σ_{eq} : Tensión equivalente

σ_{adm} : Tensión admisible

Mf: Momento flector

Wf: Módulo resistente a la flexión

N: Esfuerzo normal

A: Área de la sección

Mt: Momento torsor

W_p : Módulo resistente a la torsión

Para una sección tubular:

$$W_f = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32 \cdot D}$$

$$W_p = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{16 \cdot D}$$

D: diámetro exterior

d: diámetro interior

3.2 Antebrazo

A partir del análisis de fuerzas anterior se puede determinar el diagrama de momento flector para el antebrazo:

x (m)	M(x) (N·m)
0	0
0,15	36,75
0,3	73,5
0,45	110,25
0,58	142,1
0,58	-53,9
0,75	-12,25
0,8	0

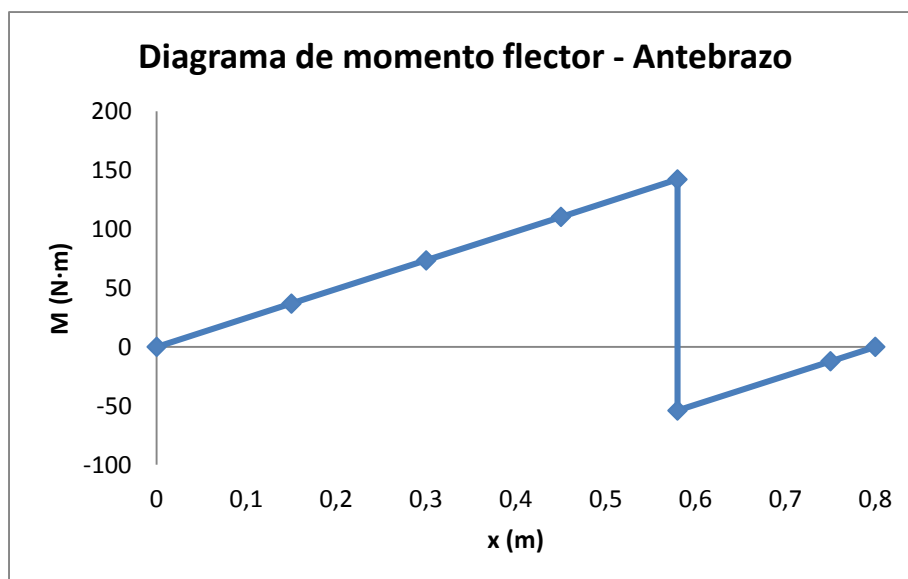


Fig. 12: Diagrama de momento flector en el antebrazo

Fuente: Elaboración Propia

El antebrazo estará sometido a un momento torsor originado por la excentricidad de la carga. Dicho momento torsor se estima en un valor de:

$$M_t = 245 \text{ N} \cdot 0,07 \text{ m} = 17,15 \text{ N}\cdot\text{m}$$

A partir de estos valores, se prueba con varios perfiles para verificar aquellos que cumplen con la condición de tensión equivalente inferior a la tensión admisible.

En este proyecto se estudian dos diseños alternativos, cada uno con un material diferente: **acero y fibra de carbono**.

3.2.1. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos al probar con diferentes perfiles tubulares de acero:

Tabla 6: Resultados de los cálculos de sección tubular para el antebrazo
Fuente: Elaboración Propia

Tipo Perfil	D (cm)	e (cm)	Wf (cm ³)	Wp (cm ³)	A (cm ²)	Mf (N·cm)	Mt (N·cm)	N (N)	σ_{eq} (N/cm ²)	σ_{adm} (N/cm ²)
Circular hueco D40	4	0,2	2,16	4,32	2,39	14210	1715	0,0	6612,1	13720
Circular hueco D38	3,8	0,23	2,17	4,34	2,58	14210	1715	0,0	6578,3	13720
Circular hueco D33,7	3,37	0,18	1,37	2,73	1,80	14210	1715	0,0	10458,5	13720
Circular hueco D30	3	0,2	1,16	2,31	1,76	14210	1715	0,0	12367,2	13720

Como se puede observar, todos los perfiles estudiados cumplen con la condición.

3.3 Brazo

A partir del análisis de fuerzas anterior se puede determinar el diagrama de momento flector para el brazo:

x	M(x) (N·m)
0	0
0,15	36,75
0,3	73,5
0,45	110,25
0,6	147
0,75	183,75
0,9	220,5
1,02	249,9
1,08	99,96
1,12	0

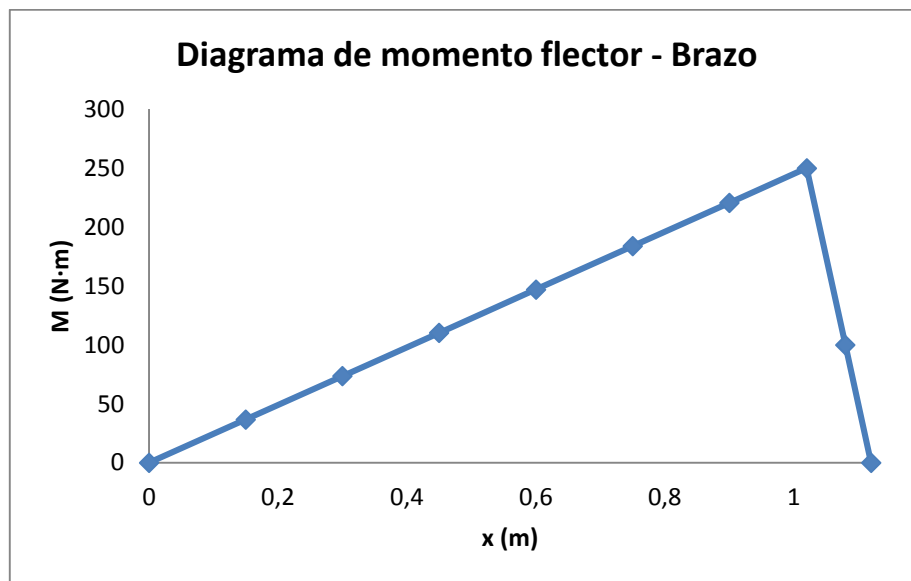


Fig. 13: Diagrama de momento flector en el brazo

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos al probar con diferentes perfiles tubulares de acero:

Tabla 7: Resultados de los cálculos de sección tubular para el brazo
Fuente: Elaboración Propia

Tipo Perfil	D (cm)	e (cm)	Wf (cm ³)	Wp (cm ³)	A (cm ²)	Mf (N·cm)	Mt (N·cm)	N (N)	σ _{eq} (N/cm ²)	σ _{adm} (N/cm ²)
Circular hueco D40	4	0,2	2,16	4,32	2,39	24990	1715	0,0	11585,6	13720
Circular hueco D38	3,8	0,23	2,17	4,34	2,58	24990	1715	0,0	11526,4	13720
Circular hueco D33,7	3,37	0,18	1,37	2,73	1,80	24990	1715	0,0	18325,1	13720
Circular hueco D30	3	0,2	1,16	2,31	1,76	24990	1715	0,0	21669,5	13720

Como se puede observar, sólo los perfiles D40 y D38 cumplen con la condición de tensión equivalente inferior a la tensión admisible.

Por tanto, con la idea de que las dimensiones de la estructura sean homogéneas se selecciona inicialmente para el antebrazo y el brazo un perfil de **DN 40 mm y 2 mm de espesor**.

Estos son los valores de partida del diseño que se analizan mediante el software de cálculo Solidworks y cuyos resultados se describen en el Anejo 3.

5. Cálculo del diámetro mínimo de los pasadores

Los actuadores se unen a la estructura de los brazos a partir de unas orejas soldadas y unos pasadores. Se utilizarán pasadores de acero. La acción de los actuadores hará que éstos estén sometidos a corte, pudiendo determinar su diámetro mínimo a partir de las siguientes expresiones:

$$\tau_{max} = \frac{F}{2 \cdot A} \leq \tau_{adm}; \quad dp \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F}{2 \cdot \pi \cdot \tau_{adm}}}$$

Siendo:

F: Fuerza aplicada por el actuador

A: Área del pasador

dp: Diámetro del pasador

τ_{\max} : Tensión máxima al corte

τ_{adm} : Tensión admisible al corte (para el acero es de 760 Kgf/cm²)

Se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 8: Resultados de los cálculos del diámetro mínimo de los pasadores
Fuente: Elaboración Propia

Pasador	τ_{adm} (N/cm ²)	F (N)	$d_{p_{\text{min}}}$ (cm)
Actuador 1	7448	2450	0,46
Actuador 2	7448	2803	0,49

6. Soldadura

Las piezas que conforman el brazo metálico se unirán mediante soldadura. Se realizarán soldaduras a tope en las uniones de los tubos con las rótulas y soldaduras en ángulo en el resto de los casos.

La resistencia de las soldaduras a tope se considera igual a la resistencia menor de las piezas a unir y, por tanto, no será necesario su cálculo.

Para el cálculo de las soldaduras en ángulo se utiliza el procedimiento descrito en el libro “Elementos de Máquinas” de G. Nieman.

Se realiza la comprobación para el caso más desfavorable, que es el que se da en el brazo, justo en la unión de la lengüeta inferior con el brazo. En este punto, la fuerza máxima de compresión y el momento flector máximo tienen los siguientes valores:

- Fuerza de compresión máxima: 2803,2 N
- Momento flector máximo: 249,9 N·m

La tensión en la soldadura en este caso viene dada por:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_c^2 + \sigma_f^2}$$

Siendo:

$$\sigma_c = \frac{F}{a \cdot l}$$

$$\sigma_f = \frac{Mf}{Wn}$$

σ_c : tensión debida a compresión

σ_f : tensión debida a flexión

a: espesor de garganta

l: longitud del cordón

Mf: Momento flector máximo

W_n : Módulo resistente a flexión del cordón de soldadura

La tensión admisible en la soldadura se establece teniendo en cuenta que la resistencia de la soldadura y de las zonas próximas es inferior a la resistencia del material. Para su cálculo se utilizan dos factores de reducción (v_1 y v_2) de la tensión admisible del material que dependen del tipo de unión, la clase de sollicitación y de la calidad de la soldadura:

$$\sigma_{adm,sol} = v_1 \cdot v_2 \cdot \sigma_{adm}$$

Considerando carga estática y soldadura de calidad normal, se obtienen los siguientes resultados para diferentes espesores de garganta del cordón:

Tabla 9: Resultados de los cálculos de soldadura
Fuente: Elaboración Propia

a (mm)	L (mm)	W_n (mm ⁴)	σ_c (N/mm ²)	σ_f (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ_{adm} (N/mm ²)	$\sigma_{adm,sol}$ (N/mm ²)
3	212	1860	4,41	134,4	134,4	235	76,4
4	212	4035,6	3,30	61,9	61	235	76,4
5	212	7544,4	2,64	33,1	33,2	235	76,4

A la vista de los resultados, un cordón de soldadura de 4 mm es suficiente. Con la idea de establecer un margen de seguridad mayor, se opta por utilizar cordones de 5 mm de espesor.

7. Pegamento

Para el brazo fabricado a partir de fibra de carbono y aluminio, las piezas se unirán mediante pegamento. Para determinar la tensión de corte necesaria para el pegamento, se toma el valor más desfavorable de fuerza de tracción. La tensión admisible de corte del pegamento deberá ser superior a la relación entre la fuerza más desfavorable y el área de la superficie pegada, tal y como se muestra en la siguiente figura:

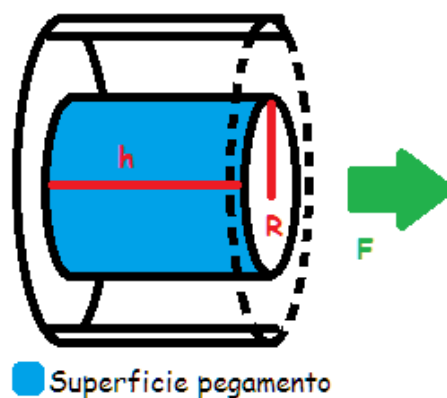


Fig. 6: Esquema superficie de pegado
Fuente: Elaboración Propia

$$\tau_{adm}^{peg} \geq \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot h}$$

La unión más desfavorable se dará en la unión el tubo interior del bíceps con la rótula del hombro:

$$\tau_{adm}^{peg} \geq \frac{3271 \text{ N}}{2 \cdot \pi \cdot 23 \text{ mm} \cdot 15 \text{ mm}} = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

Se debe comprobar además que la tensión del pegamento no supere la tensión máxima de corte de la fibra de carbono, que en este caso vendrá dada por:

$$\tau_{corte}^{fib} = \frac{Su}{\sqrt{3}} = \frac{552 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3}} = 318,7 \text{ N/mm}^2$$

Por tanto, se utilizará un pegamento con una tensión de corte superior a 1,51 N/mm² y que no supere los 318,7 N/mm²



Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología
Sección de Ingeniería Industrial

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

ANEXO 3. ANÁLISIS DE TENSIONES Y DEFORMACIONES

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOESQUELETO PARA
CARGAS LIGERAS: BRAZOS**

Autores:

**Kevin Eduardo Caraballo Grillo
José Feliciano Gutiérrez González**

Julio 2015

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Descripción del Método de Elemento Finitos	3
3. Solidworks.....	4
4. Análisis en Solidworks y resultados.....	5
4.1 Simulaciones del diseño en acero	5
4.1.1 Pieza de agarre	6
4.1.2 Antebrazo	8
4.1.3 Brazo.....	13
4.1.4 Hombro y estructura de giro	16
4.2 Simulaciones del diseño con fibra de carbono y aluminio	20
4.2.1 Pieza de agarre	21
4.2.2 Antebrazo	22
4.2.3 Brazo.....	24
4.2.4 Hombro y estructura de giro	25

1. Introducción

En el presente documento se detallan los resultados obtenidos del análisis de tensiones y desplazamientos mediante el software de cálculo Solidworks. Se analizan las piezas diseñadas inicialmente y en base de los resultados obtenidos se proponen modificaciones y mejoras para la optimización de toda la estructura de los brazos, con la idea de proponer un diseño mejorado.

2. Descripción del Método de Elemento Finitos

El Método de los Elemento Finitos (MEF) ha adquirido gran importancia en la solución de problemas que hasta hace relativamente poco tiempo eran prácticamente imposibles de resolver por métodos matemáticos tradicionales.

El MEF ha sufrido en los últimos años un gran desarrollo gracias a los avances informáticos. En la actualidad existen varios programas que permiten realizar cálculos con elementos finitos. Los ordenadores han aportado el medio eficaz de resolver multitud de ecuaciones que se plantean en el MEF.

Este método se basa en la división de un continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que rigen el comportamiento del continuo regirán también el del elemento. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no.

En cualquier sistema a analizar se distingue entre:

- Dominio: Espacio geométrico donde se va a analizar el sistema.
- Condiciones de contorno: Variables conocidas y que condicionan el cambio del sistema (cargas, desplazamientos, etc.)

- Incógnitas: Variables del sistema que se desean conocer después de que las condiciones de contorno hayan actuado sobre el sistema (desplazamientos, tensiones, deformaciones, etc.)

El método de los elementos finitos supone, para solucionar el problema, el dominio discretizado en subdominios denominados elementos. El dominio se divide mediante puntos (en el caso lineal), mediante líneas (en el caso bidimensional) o superficies (en el tridimensional) imaginarias, de forma que el dominio total en estudio se aproxime mediante el conjunto de porciones (elementos) en que se subdivide. Los elementos se definen por un número discreto de puntos, llamados nodos, que conectan entre sí los elementos. Sobre estos nodos se materializan las incógnitas fundamentales del problema. En el caso de elementos estructurales estas incógnitas son los desplazamientos nodales, ya que a partir de éstos se pueden calcular el resto de incógnitas de interés: tensiones, deformaciones, etc. A estas incógnitas se les denomina grados de libertad de cada nodo del modelo. Los grados de libertad de un nodo son las variables que nos determinan el estado y/o posición del nodo.

3. Solidworks

Solidworks es un software CAD para modelado mecánico en 3D. Permite modelar piezas y conjuntos y extraer los planos e información necesaria para la producción.

Una de sus herramientas principales es Solidworks Simulation que utiliza el método de elementos finitos para calcular desplazamientos, deformaciones y tensiones de los componentes con cargas internas y externas. La geometría que se analiza se individualiza con elementos tetraédricos (3D), triangulares (2D) y de vigas, y se resuelve mediante un solver iterativo.

4. Análisis en Solidworks y resultados

A continuación se describen las simulaciones realizadas mediante Solidworks para obtener los resultados de tensiones y desplazamientos en la estructura de los brazos.

Debido a que el diseño completo requiere de memoria y procesador potentes, se ha optado por realizar la simulación del brazo por partes con la idea de simplificar los modelos a analizar.

Para aproximar los modelos lo más posible a la realidad se ha prestado especial cuidado en la definición de las condiciones de contorno. Para cada una de las piezas se indican las condiciones establecidas.

4.1 Simulaciones del diseño en acero

Los tipos de acero utilizados en las distintas piezas son los siguientes:

- Acero S235 (DIN 2391): para los tubos
- Acero S355: para el resto de las piezas

Tabla 1: Propiedades de los aceros utilizados
Fuente: Elaboración Propia

Propiedad	S235	S355
Módulo elástico (N/m ²)	$2,1 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{11}$
Coefficiente de Poisson	0,28	0,28
Módulo cortante (N/m ²)	$7,9 \cdot 10^{10}$	$7,9 \cdot 10^{10}$
Densidad (kg/m ³)	7800	7800
Límite de tracción (N/m ²)	$6,3 \cdot 10^8$	$4,7 \cdot 10^8$
Límite elástico (N/m ²)	$2,75 \cdot 10^8$	$3,35 \cdot 10^8$

En todos los casos se simula para una carga dos veces superior a la de diseño, es decir 50 kilogramos, para establecer un margen de seguridad.

Para los estudios se han usado elementos tetraédricos de malla basada en curvatura.

4.1.1 Pieza de agarre

Para la simulación de esta pieza se han utilizado las siguientes condiciones de contorno:

- Sujeciones avanzadas sobre caras cilíndricas: sobre la cara interior del orificio para el pasador se restringen los movimientos radial, axial y circunferencial.
- Fuerza: Se aplica una fuerza sobre la cara horizontal de apoyo de la carga con un valor de 490 N.

Se simula la pieza para dos espesores de chapa de acero: 5 y 3 mm.

4.1.1.1 Chapa de acero de 5 mm de espesor

Se obtienen los siguientes resultados:

- Tensión de Von Mises:

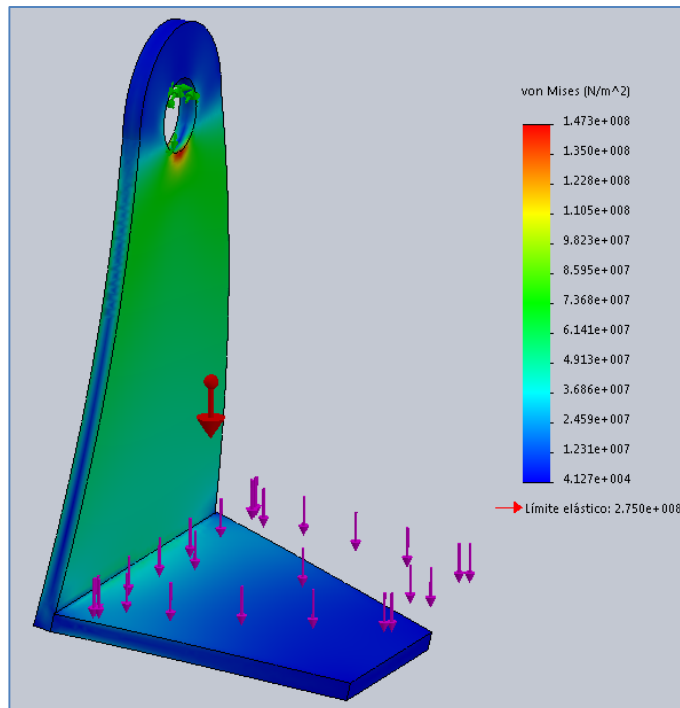


Fig 1. Tensión de Von Mises en pieza de agarre de 5 mm de espesor

Fuente: Elaboración Propia

La tensión máxima ($1,47 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$) se concentra en el borde inferior del orificio del pasador, aunque no se supera el límite elástico del material.

- Desplazamientos:

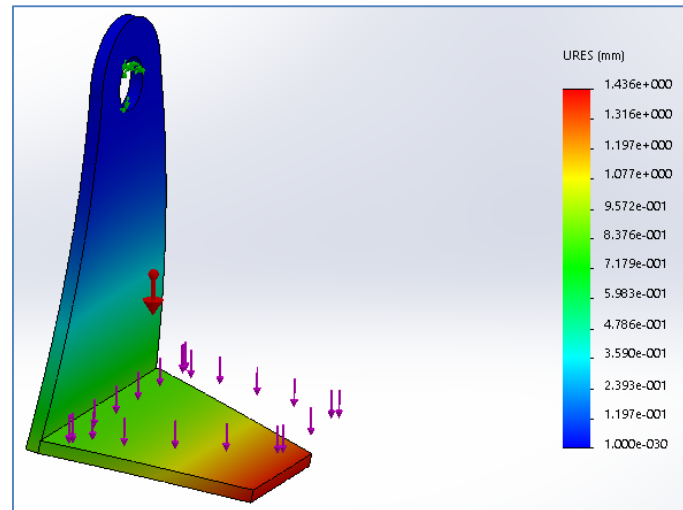


Fig 2. Desplazamientos en pieza de agarre de 5 mm de espesor
Fuente: Elaboración Propia

El mayor desplazamiento resultante se produce en el extremo exterior de la parte horizontal, con un valor de 1,4 mm.

4.1.1.3 Chapa de acero de 3 mm de espesor

Se obtienen los siguientes resultados:

- Tensión de Von Mises:

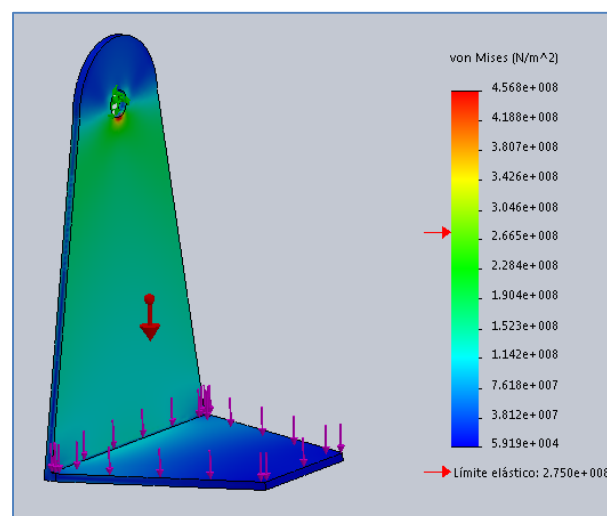


Fig 3. Tensión de Von Mises en pieza de agarre de 3 mm de espesor
Fuente: Elaboración Propia

En este caso, la tensión máxima aumenta hasta un valor de $4,6 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ superando en esta zona el límite elástico para una carga de 50 kg. Para una carga de 25 kg las tensiones máximas se encontrarían por debajo del límite elástico, pero supondría un factor de seguridad muy bajo.

- Desplazamientos:

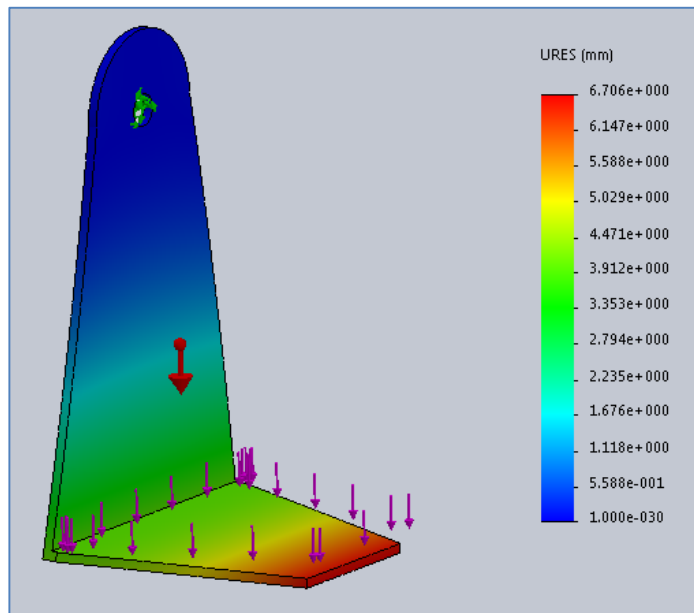


Fig 4. Desplazamientos en pieza de agarre de 3 mm de espesor
Fuente: Elaboración Propia

En este caso se produce un desplazamiento máximo apreciable de 6,7 mm.

Dados los resultados, se opta por el uso de chapas de 0,5 mm de espesor para la fabricación de la pieza.

4.1.2 Antebrazo

La simulación del antebrazo presenta la complicación de que éste es sujeto por el actuador. Para simular el efecto del actuador lo que se ha hecho es utilizar dos conectores tipo muelle unidos al pasador de la lengüeta y con una rigidez similar a la que podría tener el vástago del actuador, calculada mediante la expresión:

$$K = \frac{E \cdot A}{2 \cdot L}$$

Para el diseño inicial se utiliza un tubo de acero calibrado de 40 mm de diámetro y 2 mm de espesor. Las condiciones de contorno establecidas son:

- Sujeción fija de la cara donde se anclan los muelles.
- Sujeción avanzada sobre la cara cilíndrica de la rótula simple, restringiendo el movimiento axial y radial.
- Carga remota desde las caras cilíndricas de la rótula doble hasta el punto de aplicación real de la carga con un valor de 490 N.

4.1.2.1 Resultados para el diseño inicial en acero

- Tensión de Von Mises:

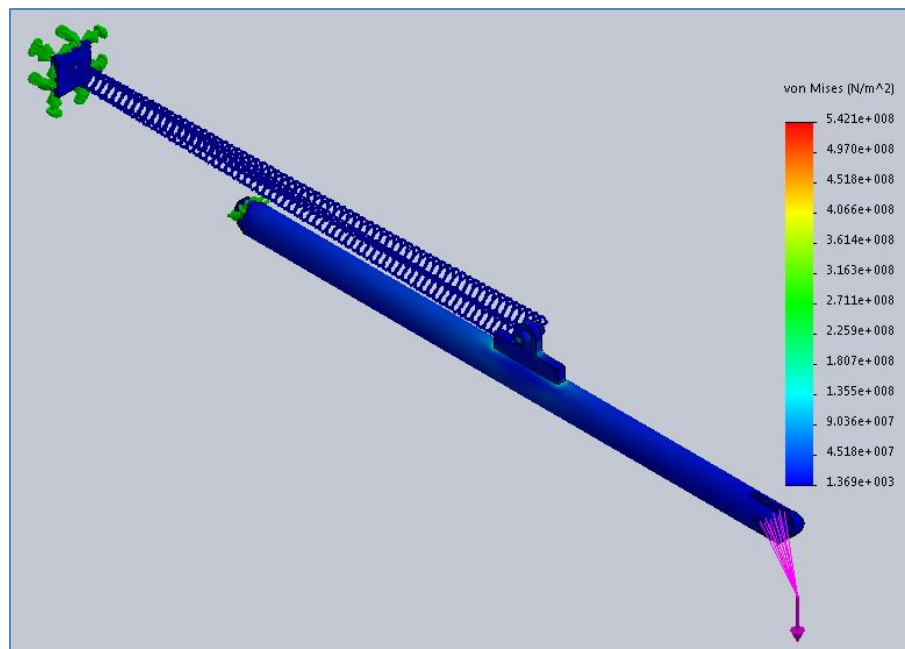


Fig. 5: Tensión de Von Mises en diseño inicial de antebrazo

Fuente: Elaboración Propia

Las mayores tensiones se concentran en los extremos de la lengüeta, justo en la unión con el tubo y en el pasador. La máxima tensión que se registra en la figura coincide con el punto de sujeción de los muelles y no afecta al diseño del antebrazo.

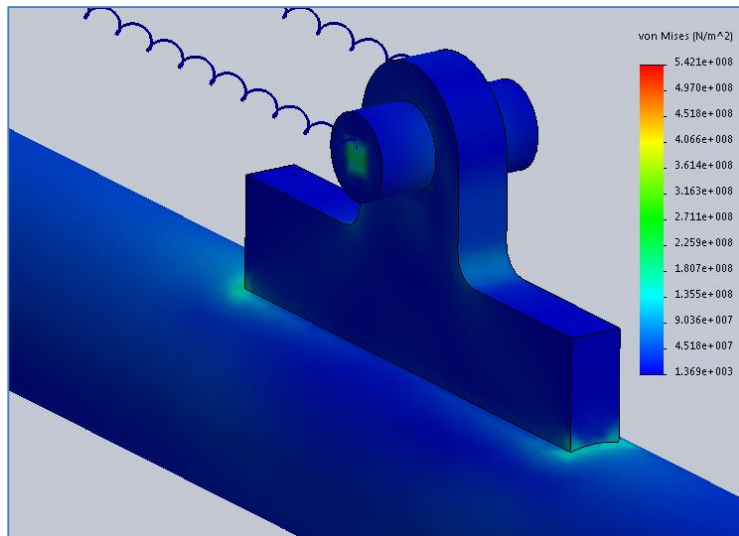


Fig. 6: Tensiones en la lengüeta inicial del antebrazo
Fuente: Elaboración Propia

El valor máximo que se registra es de $2,2 \cdot 10^8$ N/m² en el pasador. No se supera en ninguna zona el límite elástico del material.

- Desplazamientos:

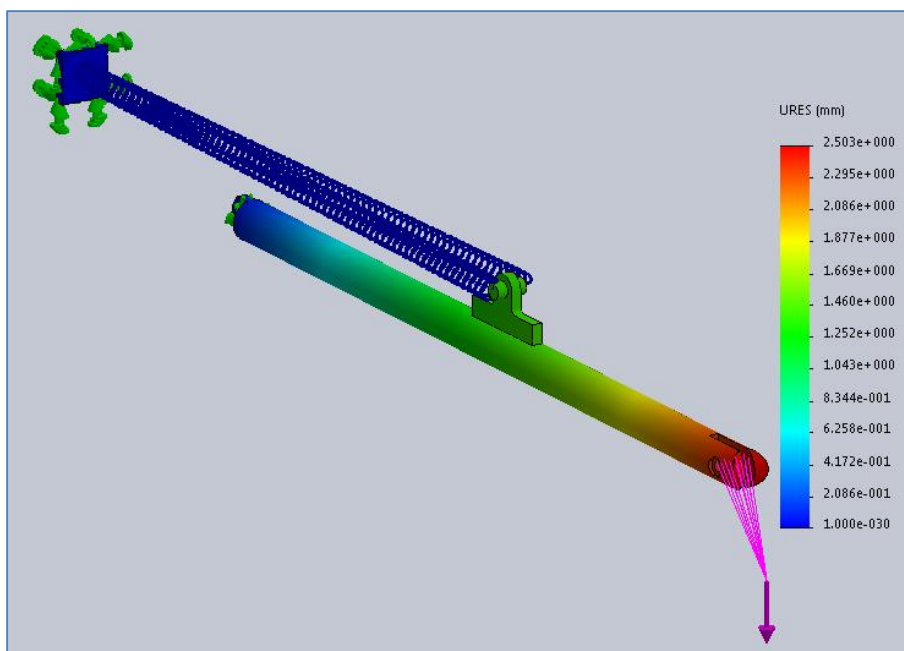


Fig. 7: Desplazamientos en diseño inicial de antebrazo
Fuente: Elaboración Propia

El máximo desplazamiento se produce en el extremo de aplicación de la carga y toma un valor de 2,5 mm.

A la vista de los resultados y tras este diseño inicial se opta por realizar una modificación en la lengüeta del actuador reduciendo su espesor desde los 10 mm hasta 6 mm. Además, se propone un diseño mejorado de la lengüeta con contornos redondeados.

4.1.2.2 Resultados para el diseño mejorado en acero

- Tensión de Von Mises:

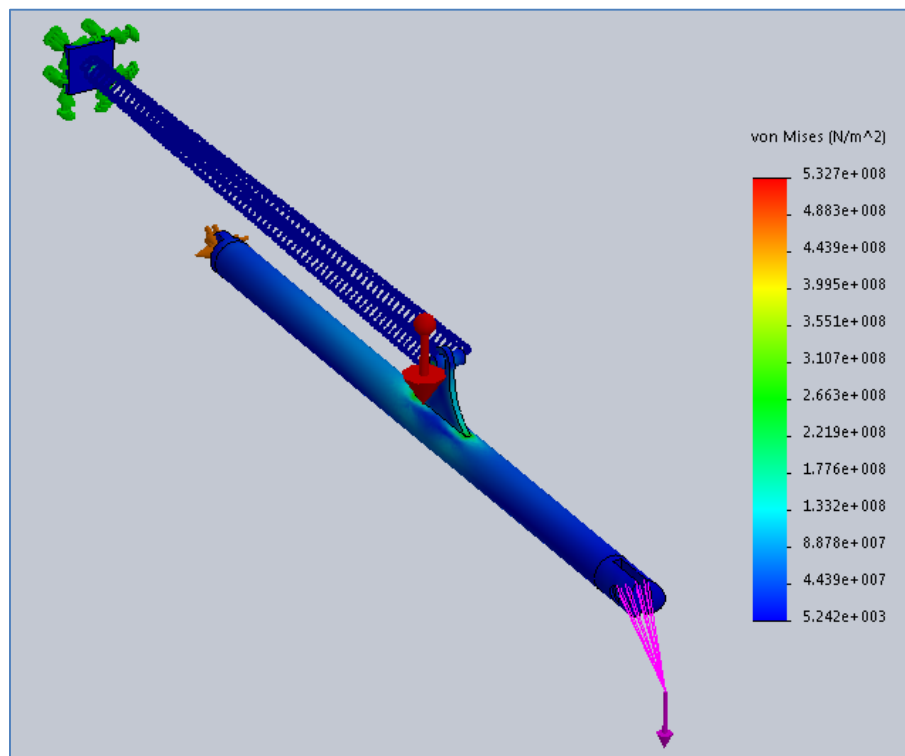


Fig. 8: Tensión de Von Mises en diseño mejorado de antebrazo

Fuente: Elaboración Propia

En este caso, se registra una tensión de $4,2 \cdot 10^8$ N/m² justo en las esquinas inferiores de la lengüeta, como se puede apreciar en la figura 9. Se trata de una zona muy pequeña de la pieza y en la que, por la forma de realizar el modelo en 3D no han sido tenidos en cuenta los radios de unión con soldadura, lo cual reducirá las tensiones.

El resto de la unión lengüeta tubo se encuentra a una tensión de $2,6 \cdot 10^8$ y, por tanto, no afectará a la integridad de la pieza.

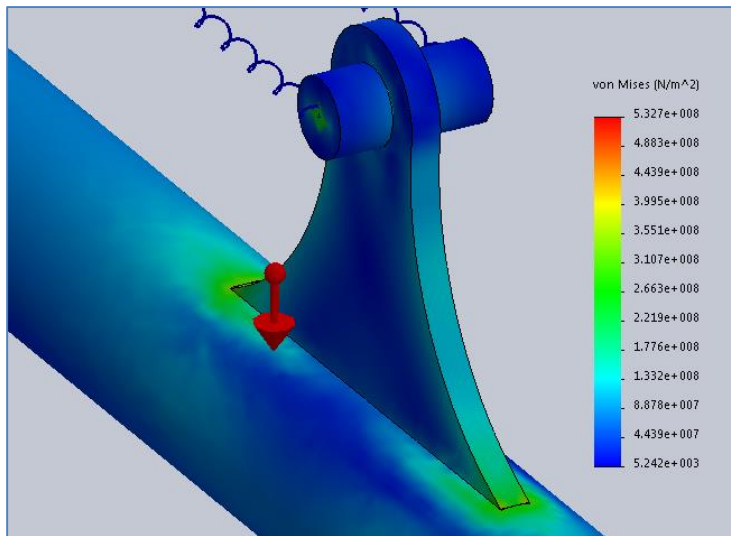


Fig. 9: Tensiones en la lengüeta mejorada del antebrazo
Fuente: Elaboración Propia

- Desplazamientos:

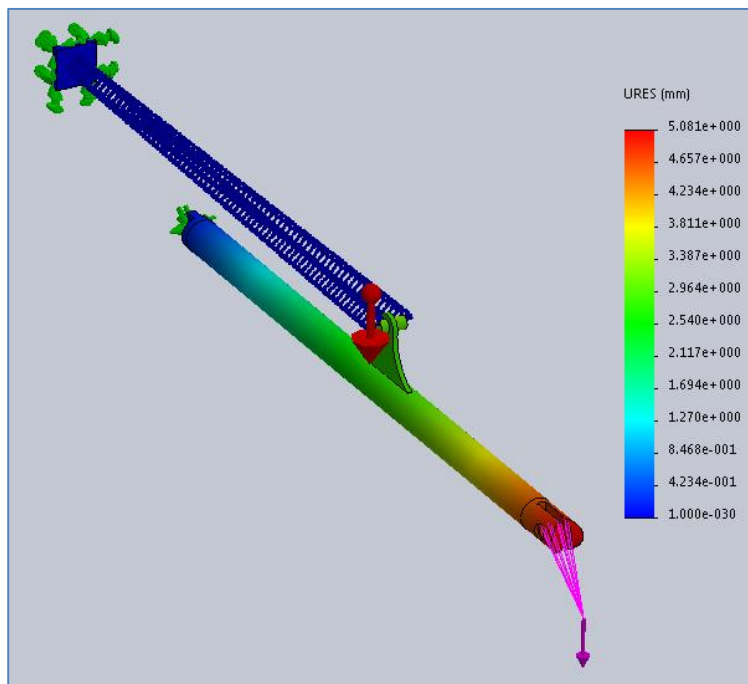


Fig. 10: Desplazamientos en diseño mejorado de antebrazo
Fuente: Elaboración Propia

El desplazamiento resultante máximo aumenta hasta los 5 mm en este caso.

4.1.3 Brazo

Sobre el brazo se sujetan los dos actuadores. Para la simulación del actuador inferior se sigue el procedimiento anterior, esto es el uso de conectores tipo muelle unidos al pasador de la lengüeta inferior. Para simular el actuador superior se aplica la fuerza del mismo sobre el pasador de la lengüeta trasera.

Como el brazo es extensible, el diseño se basa en el uso de dos tubos de acero calibrados. El tubo exterior tiene un diámetro de 40 mm y 2 mm de espesor. El tubo interior tiene un diámetro de 36 mm y 2 mm de espesor.

Las condiciones de contorno establecidas son:

- Sujeción fija de la cara donde se anclan los muelles.
- Sujeción avanzada sobre la cara cilíndrica de la rótula doble trasera, restringiendo el movimiento axial y radial.
- Carga remota desde las caras cilíndricas de la rótula doble delantera hasta el punto de aplicación real de la carga con un valor de 490 N.
- Aplicación de la fuerza del actuador sobre el pasador de la lengüeta trasera.

4.1.3.1 Resultados para el diseño inicial en acero

- Tensión de Von Mises:

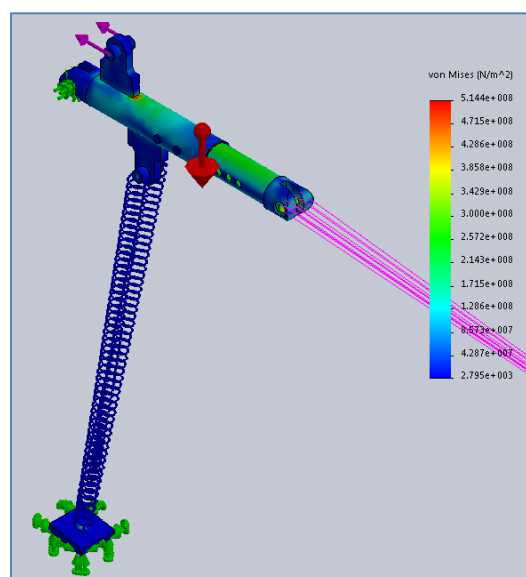


Fig. 11: Tensión de Von Mises en diseño inicial de brazo

Fuente: Elaboración Propia

Los puntos donde se concentran las mayores tensiones son: la zona unión del tubo exterior con la lengüeta superior y la cara interior de los orificios de la rótula doble del codo.

- Desplazamientos:

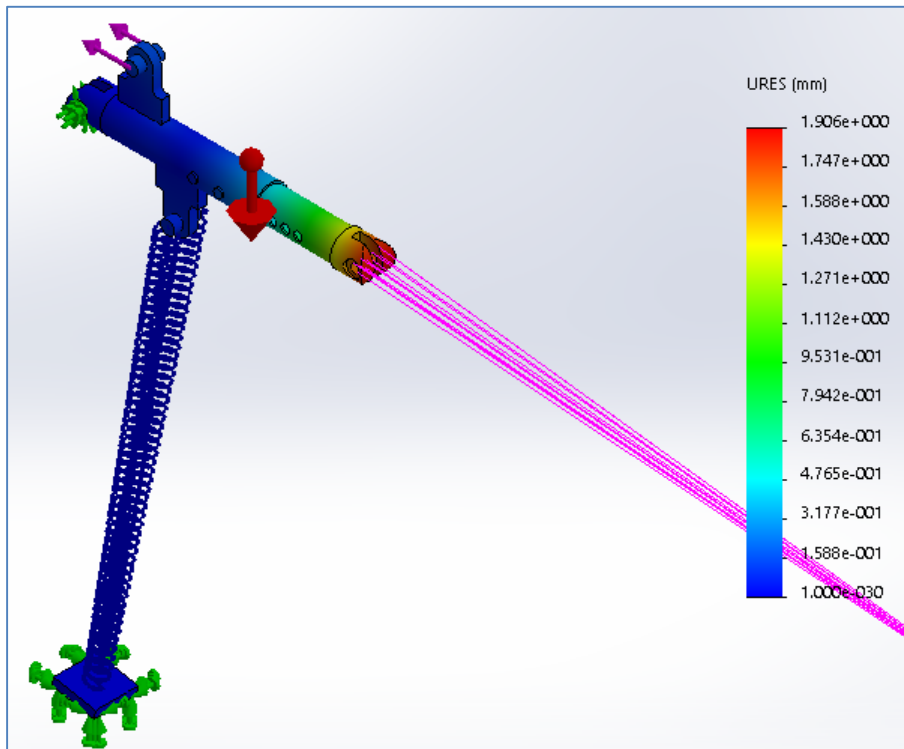


Fig. 12: Desplazamientos en diseño inicial de brazo

Fuente: Elaboración Propia

El mayor desplazamiento resultante se produce en el extremo del codo con un valor de 1,9 mm.

A la vista de los resultados y tras este diseño inicial se opta por realizar una modificación en el diseño de las lengüetas.

4.1.3.2 Resultados para el diseño mejorado en acero

- Tensión de Von Mises:

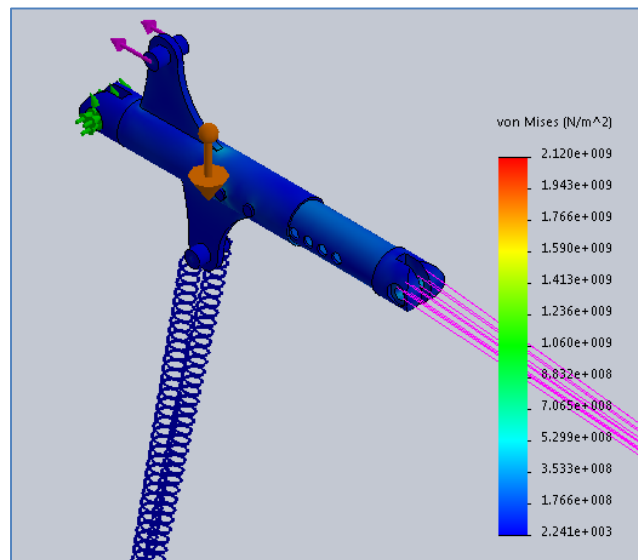


Fig. 13: Tensión de Von Mises en diseño mejorado de brazo
Fuente: Elaboración Propia

Las tensiones máximas se concentran en la unión del tubo exterior con la lengüeta inferior y alrededor de los orificios de los pasadores. Se alcanzan un valores de hasta $6 \cdot 10^8$ N/m² lo cual supera el límite elástico del material asignado. Hay que tener en cuenta que las zonas donde se concentran estas tensiones ocupan un área pequeña con respecto al tamaño de la pieza y donde no se han tenido en cuenta los radios de unión que reducirá las tensiones.

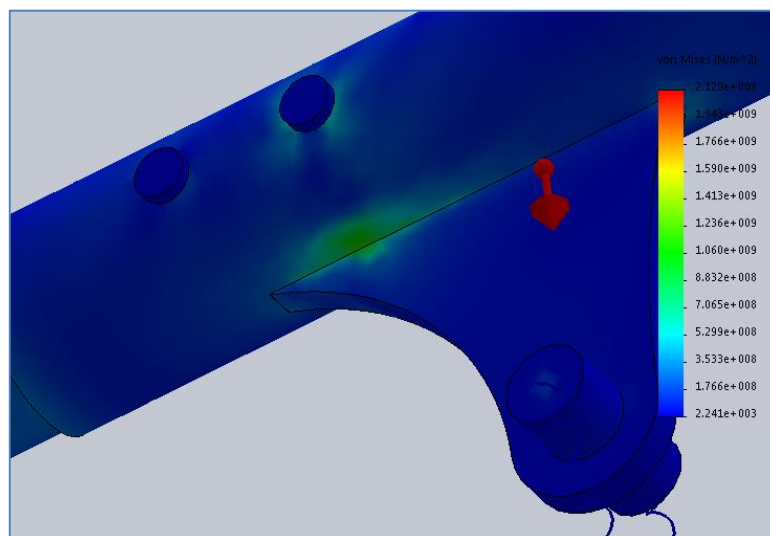


Fig. 14: Zonas con mayores tensiones en diseño mejorado de brazo
Fuente: Elaboración Propia

- Desplazamientos:

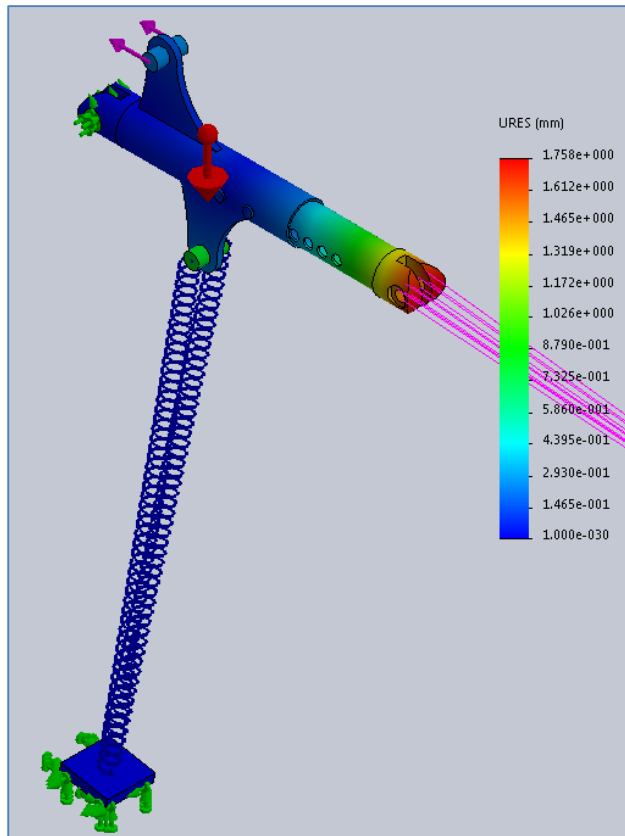


Fig. 15: Desplazamientos en diseño mejorado de brazo
Fuente: Elaboración Propia

En el extremo de la articulación del codo se registra el máximo desplazamiento resultante con un valor de 1,76 mm.

4.1.4 Hombro y estructura de giro

En este caso se excluye del análisis el tubo vertical de unión con la espalda. Las condiciones de contorno para esta simulación son:

- Sujeciones avanzadas sobre las caras cilíndricas interiores de los alojamientos de los rodamientos. Para la cara superior se restringen los movimientos axial, radial y circunferencial. En cambio, para la cara inferior se restringen los movimientos axiales y radiales. De esta manera se puede observar el desplazamiento que sufrirán con respecto a la articulación.
- Conector tipo unión rígida desde la cara interna de la lengüeta hasta la cara externa del orificio del pasador del hombro. Permittiéndonos simular el

efecto del actuador, provocando un desplazamiento conjunto entre las dos caras consideradas.

- Carga remota asociada a las caras cilíndricas internas de los orificios de los pasadores del actuador y del hombro.

4.14.1 Resultados para el diseño inicial en acero

- Tensión de Von Mises:

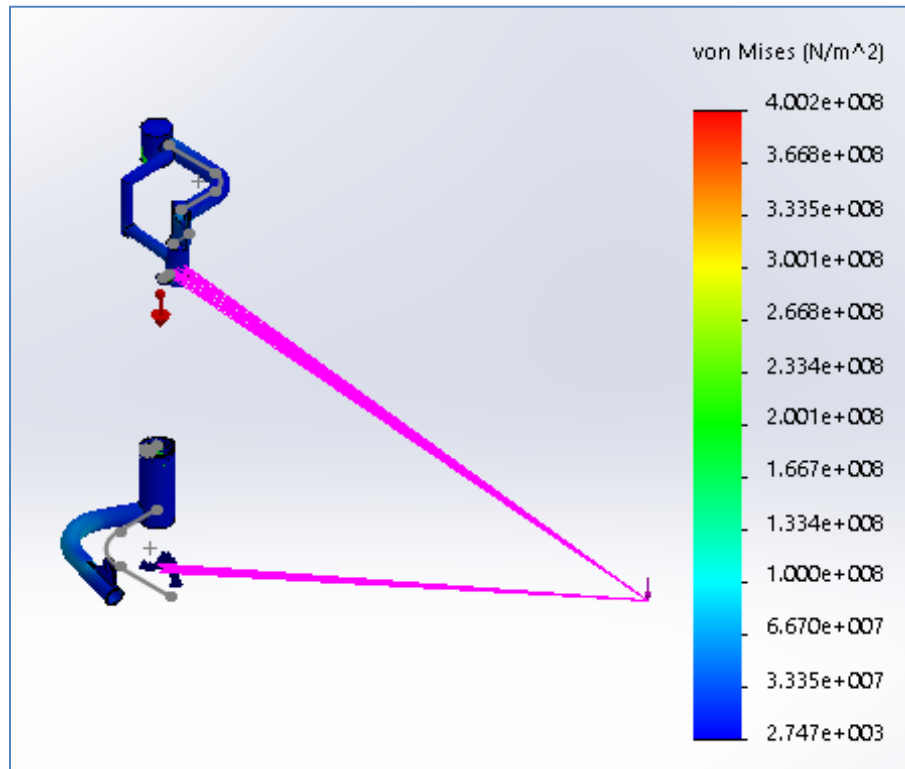


Fig. 16: Tensión de Von Mises en hombro y estructura de giro

Fuente: Elaboración Propia

Las mayores tensiones se concentran en la pieza de unión con el brazo, debido al conector tipo unión rígida, como se puede ver en la figura siguiente:

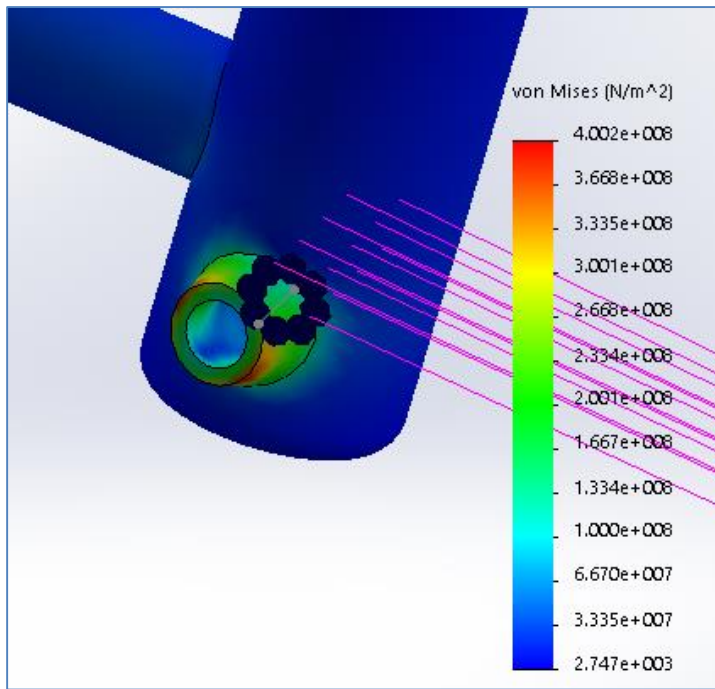


Fig. 17: Zona de mayores tensiones en hombro
Fuente: Elaboración Propia

- Desplazamientos:

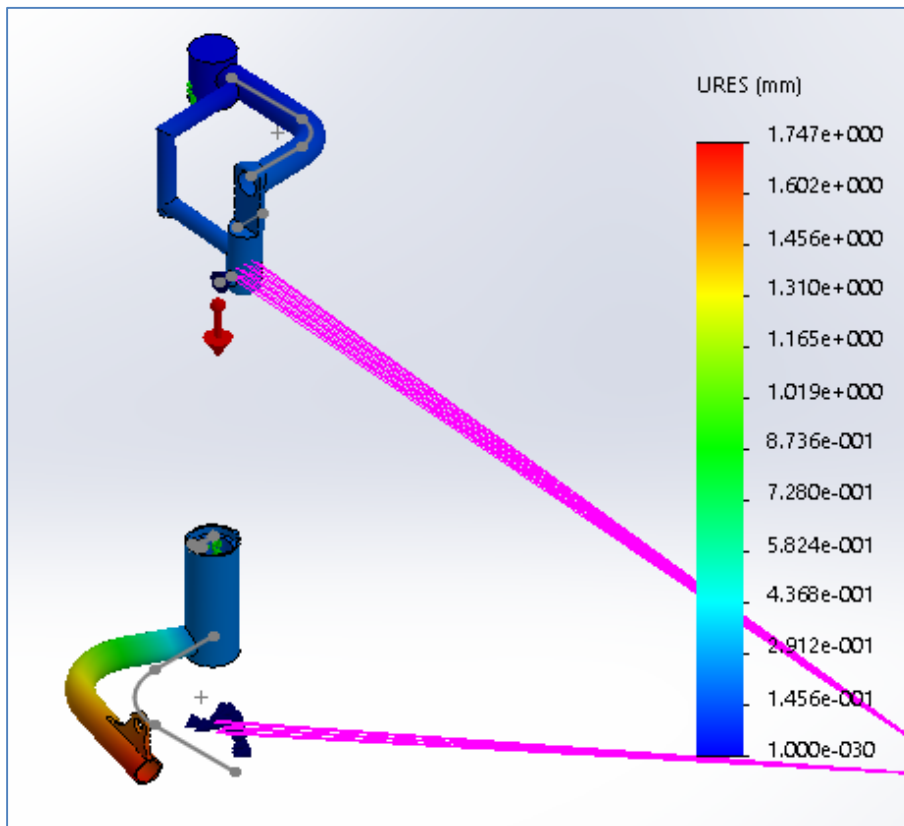


Fig. 18: Desplazamientos en hombro y estructura de giro
Fuente: Elaboración Propia

Se observa un desplazamiento resultante de 1,75 mm en el extremo de la pieza en L inferior. Este desplazamiento es más acusado en la dirección Z:

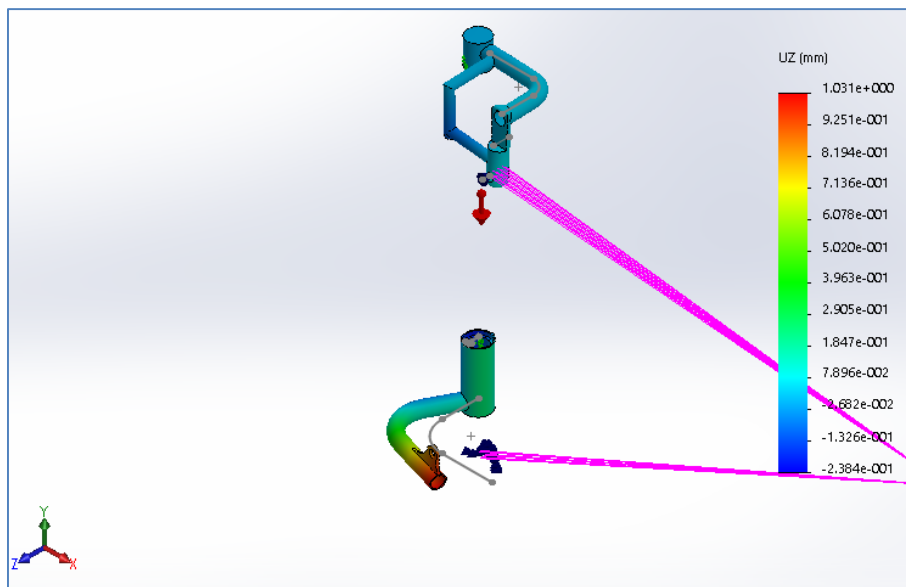


Fig. 18: Desplazamientos en dirección "z" en hombro y estructura de giro

Fuente: Elaboración Propia

Esto puede afectar al funcionamiento del actuador y producir cierta flexión en su vástago, lo que ocasionaría problemas de funcionamiento. Para evitar esto, se propone el uso de una cabeza de rótula en el extremo del actuador que evite el desalineamiento del mismo.

4.2 Simulaciones del diseño con fibra de carbono y aluminio

Para la fibra de carbono y el aluminio se han considerado las siguientes propiedades:

Tabla 2: Propiedades de la fibra de carbono utilizada
Fuente: Elaboración Propia

Propiedad	Fibra de carbono	Aluminio (6063)
Módulo elástico (N/m ²)	$5,5 \cdot 10^{10}$	$6,9 \cdot 10^{10}$
Coefficiente de Poisson	0,30	0,33
Módulo cortante (N/m ²)	$5,5 \cdot 10^{10}$	$2,6 \cdot 10^{10}$
Límite de tracción (N/m ²)	$5,52 \cdot 10^8$	$2,55 \cdot 10^8$
Límite elástico(N/m ²)	--	$2,4 \cdot 10^8$
Factor de seguridad	4	--

Para el caso de la fibra de carbono se establece un factor de seguridad 4 respecto a la tensión de rotura. Por tanto, se consideran aceptables aquellas tensiones que den valores 4 veces inferiores a la tensión de rotura.

Para el caso del aluminio se establece un factor de seguridad de 2.

Para el análisis se han tomado similares condiciones de contorno que para el diseño en acero, pero en este caso se ha utilizado la carga real de 25 kg.

4.2.1 Pieza de agarre

- Tensión de Von Mises:

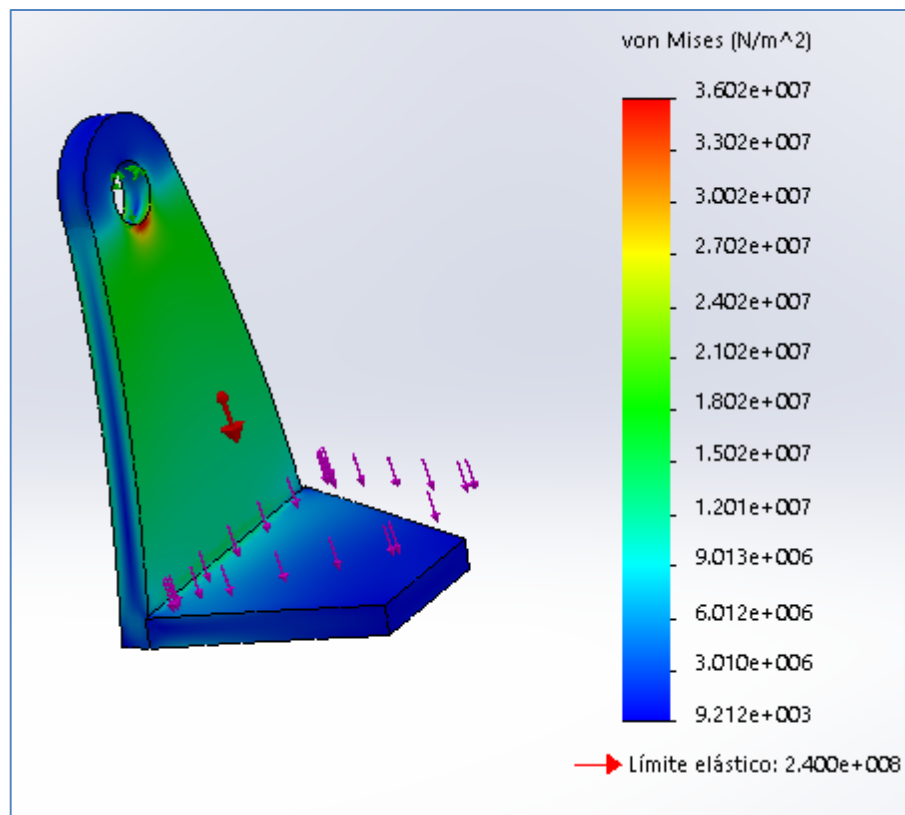


Fig. 19: Tensión de Von Mises en pieza de agarre de aluminio

Fuente: Elaboración Propia

Para la pieza de agarre se ha realizado el análisis para una carga de 50 kg. Como se puede observar, no se supera el límite elástico en ningún punto.

- Desplazamientos:

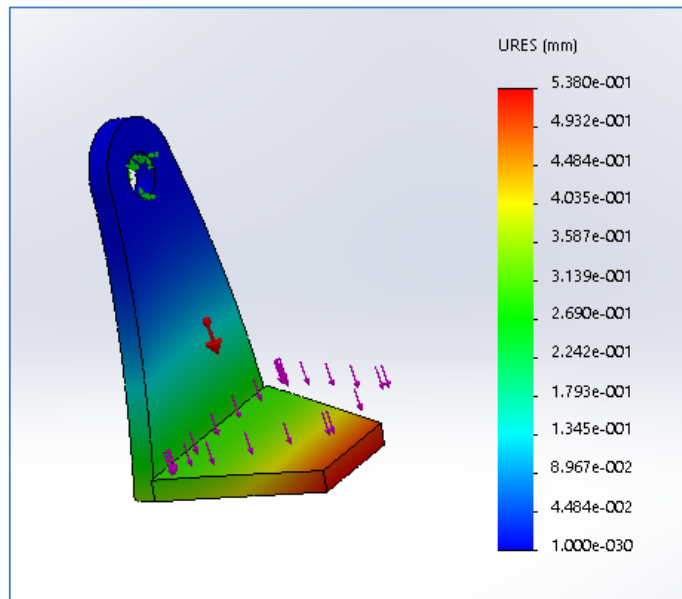


Fig. 20: Desplazamientos en pieza de agarre de aluminio
Fuente: Elaboración Propia

No se producen desplazamientos apreciables.

4.2.2 Antebrazo

- Tensión de Von Mises:

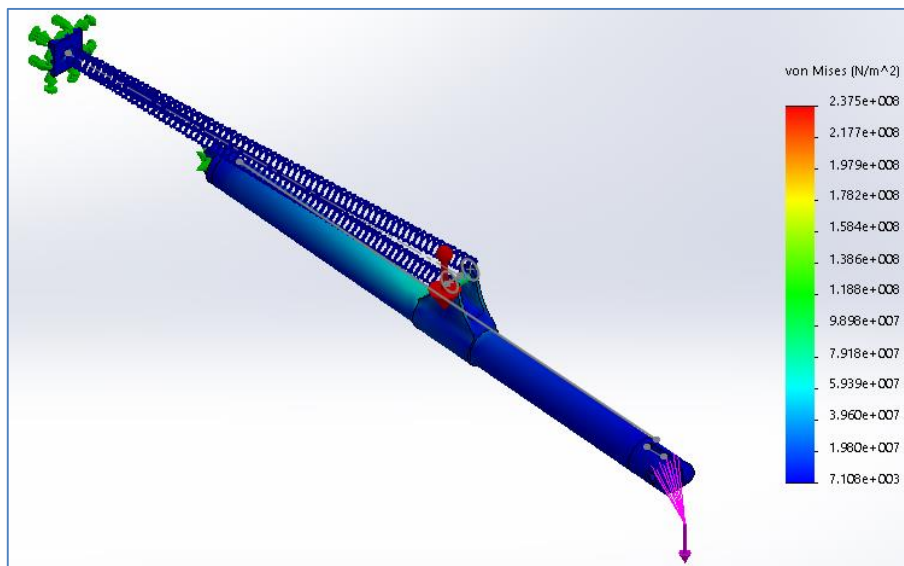


Fig. 21: Tensión de Von Mises en antebrazo de fibra de carbono y aluminio
Fuente: Elaboración Propia

La máxima tensión en la fibra de carbono se encuentra en la zona de unión con el conjunto lengüeta-anilla con un valor de $1,0 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$, lo que supone un factor de seguridad de 5.

En el caso del aluminio, la tensión más alta es de $1,6 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ y no se supera el límite elástico.

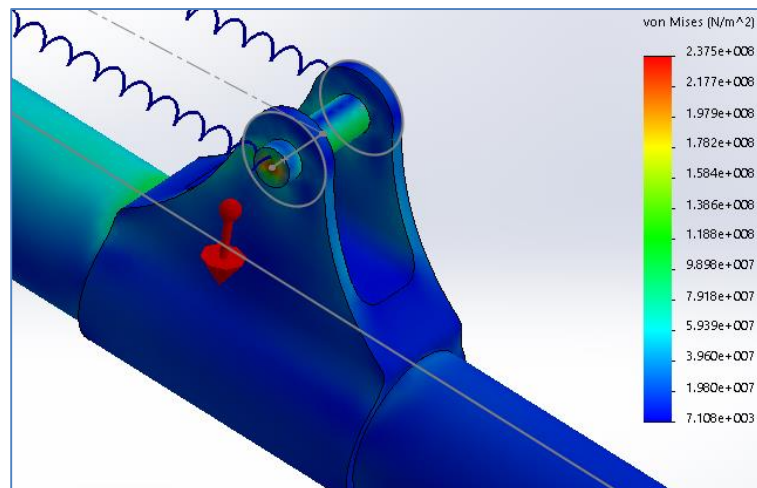


Fig. 22: Zonas con mayores tensiones en antebrazo de fibra de carbono y aluminio

Fuente: Elaboración Propia

- Desplazamientos:

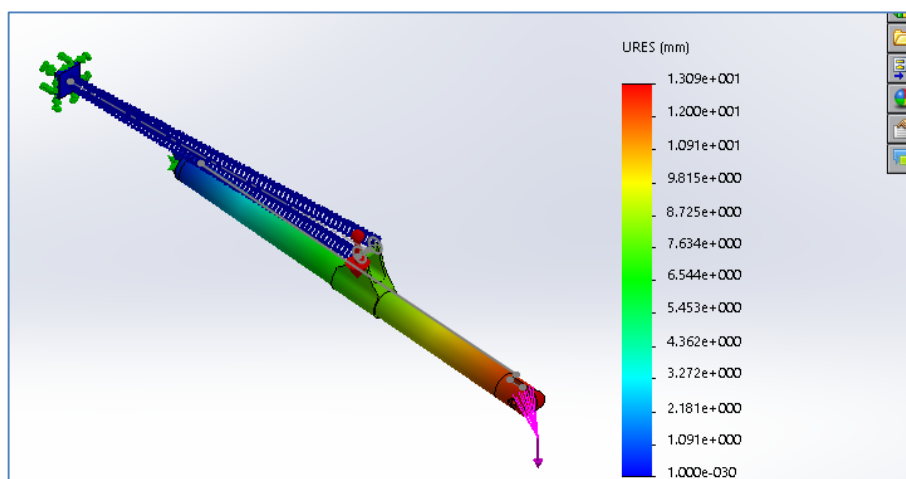


Fig. 23: Desplazamientos en antebrazo de fibra de carbono y aluminio

Fuente: Elaboración Propia

Al igual que en el caso anterior, el desplazamiento máximo se produce en el extremo de la carga, con un valor resultante de 1,3 mm.

4.2.3 Brazo

- Tensión de Von Mises:

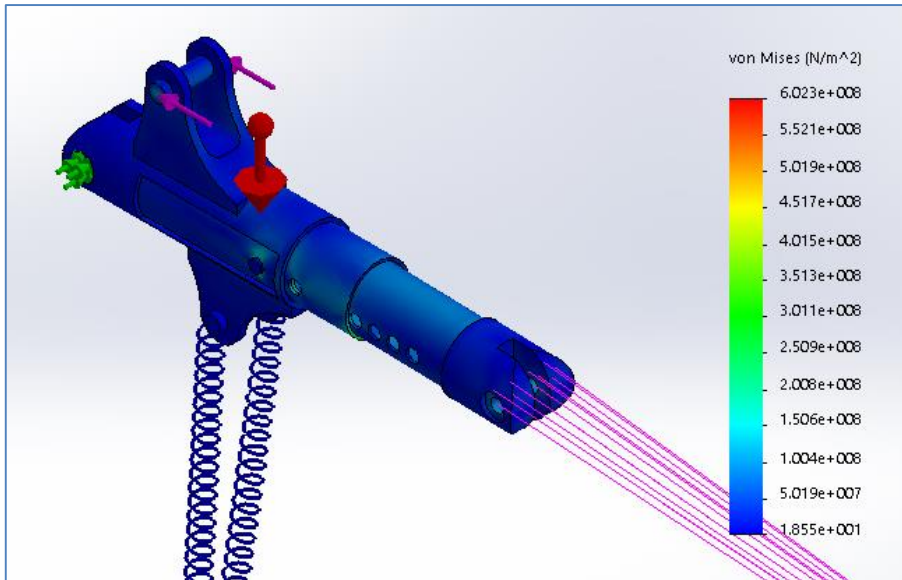


Fig. 24: Tensión de Von Mises en brazo de fibra de carbono y aluminio
Fuente: Elaboración Propia

En los tubos de fibra de carbono, las máximas tensiones se dan alrededor de los orificios de los pernos y en el extremo inferior del tubo exterior

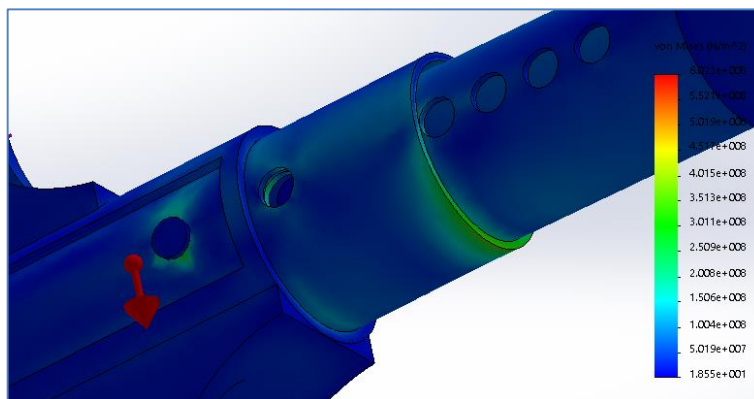


Fig. 25: Zonas con mayores tensiones en brazo de fibra de carbono y aluminio
Fuente: Elaboración Propia

Las tensiones en las piezas aluminio se encuentran por debajo del límite elástico.

- Desplazamientos:

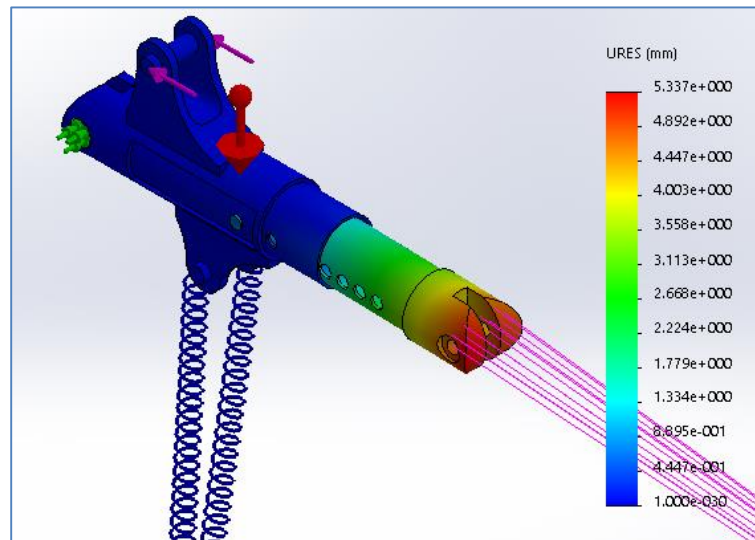


Fig. 26: Desplazamientos en brazo de fibra de carbono y aluminio
Fuente: Elaboración Propia

El mayor desplazamiento resultante se da en el extremo de la rótula del codo, con un valor de 5,3 mm.

4.2.4 Hombro y estructura de giro

- Tensión de Von Mises:

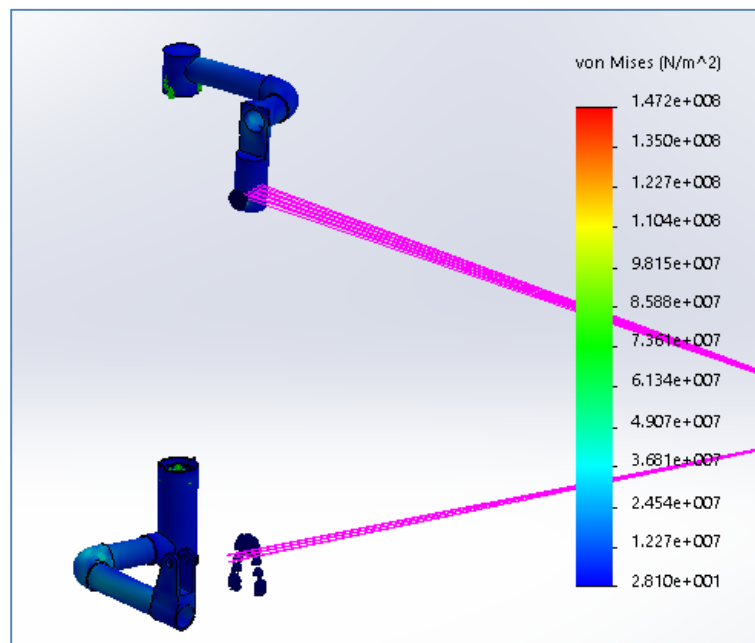


Fig. 27: Tensión de Von Mises hombro y estructura de giro de fibra de carbono y aluminio
Fuente: Elaboración Propia

En este caso las mayores tensiones se concentran en la zona de unión con el codo, en el soporte de aluminio, pero no se supera el límite elástico.

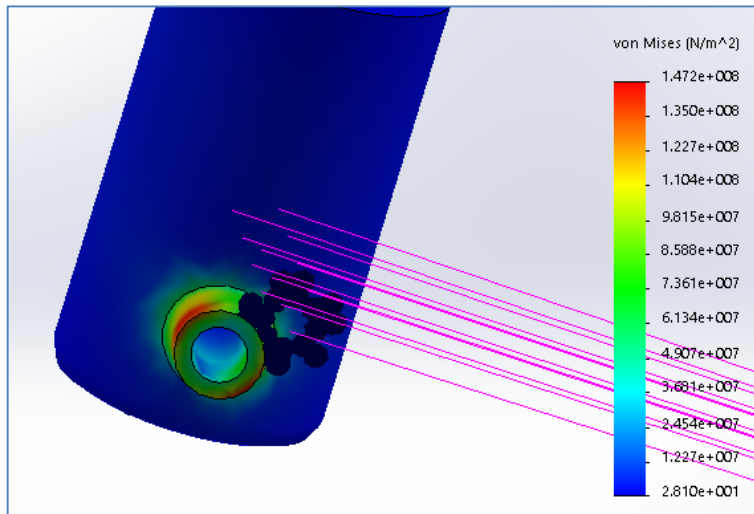


Fig. 28: Zona con mayores tensiones en unión hombro-codo
Fuente: Elaboración Propia

- Desplazamientos:

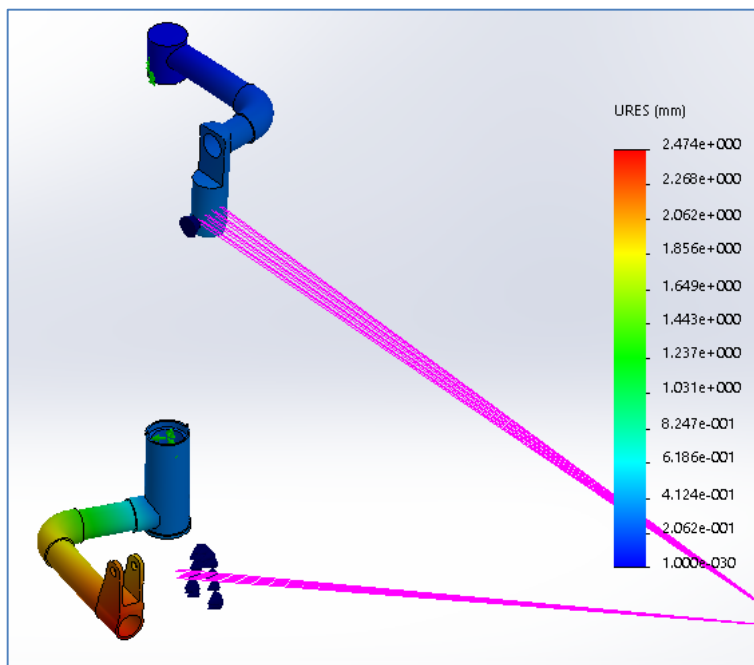


Fig. 29: Desplazamientos en hombro y estructura de giro de fibra de carbono y aluminio
Fuente: Elaboración Propia

Se obtiene un desplazamiento resultante máximo de 2,5 mm en el extremo de la L del actuador, lo que podría afectar a su funcionamiento.

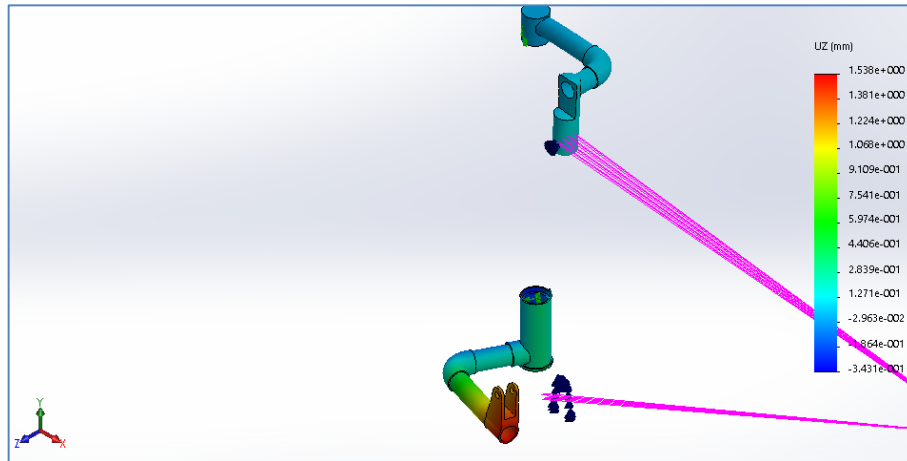


Fig. 30: Desplazamientos en “Z” en hombro y estructura de giro de fibra de carbono y aluminio
Fuente: Elaboración Propia

El desplazamiento máximo en la dirección Z es de 1,5 mm. Al igual que el caso anterior será necesario disponer de una cabeza de rótula en el extremo del vástago del actuador.



Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología
Sección de Ingeniería Industrial

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

ANEXO 4. CATÁLOGOS

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO MECÁNICO UN EXOESQUELETO PARA CARGAS
LIGERAS: BRAZOS**

Autores:

**Kevin Eduardo Caraballo Grillo
José Feliciano Gutiérrez González**

Julio 2015

Linear actuator

CAR 40

Benefits

- Industrial reliable and robust actuator
- Wide range of components
- Right- and left-hand version



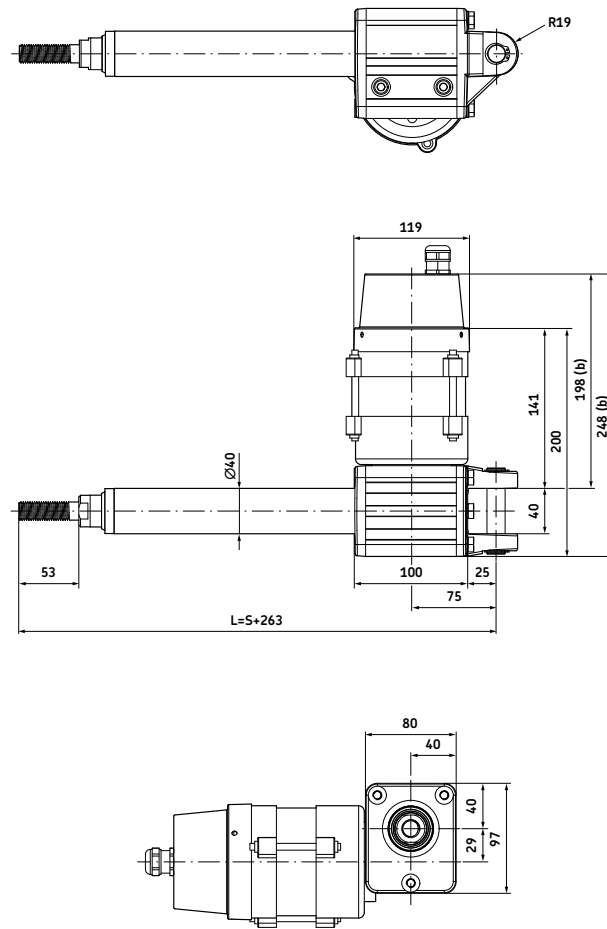
Suitable control units and accessories

	Control unit	Limit switch
	CAEV 110/220	CAXB 40*
	E110D	●
	E110DB	●
	E220D	●
	E220DB	●
	CAES 31C	●

-  Hand switch
-  Foot switch
-  Desk switch

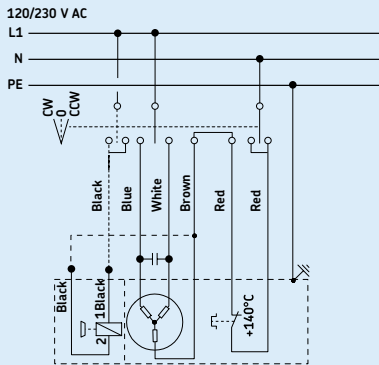
* See page 379

Dimensional drawing – AC version



Legend:
 S = stroke
 L = retracted length
 (b) = cover for brake (D24CB)

Connecting diagram – AC version



Technical data

	Unit	CAR 40 – AC version
Rated push load	N	2 000 to 6 000
Rated pull load	N	2 000 to 6 000
Speed (at full load)	mm/s	9 to 40*
Stroke	mm	100 to 700
Retracted length	mm	S+263
Voltage	V AC	120 or 230
Power consumption	120 V AC W	360
	230 V AC W	299
Current consumption	120 V AC A	3 (brake +0,29 A)
	230 V AC A	1,3 (brake +0,11 A)
Duty cycle	%	40
Ambient temperature	°C	-20 to +70
Type of protection	IP	20/54
Weight	kg	5,8 to 8,4

* Depending on selected motor

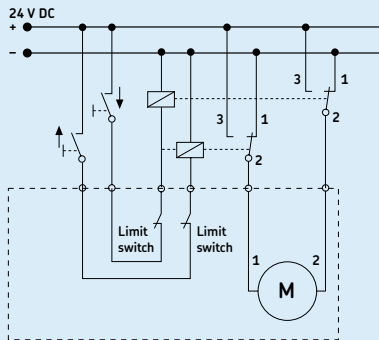
Suitable control units and accessories

Limit switch	
CAXB 40*	
<input checked="" type="checkbox"/>	D24D
<input checked="" type="checkbox"/>	D24DS
<input checked="" type="checkbox"/>	D24DB

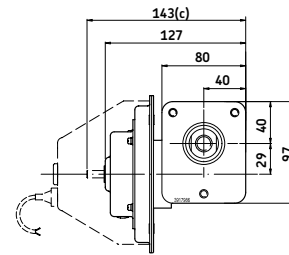
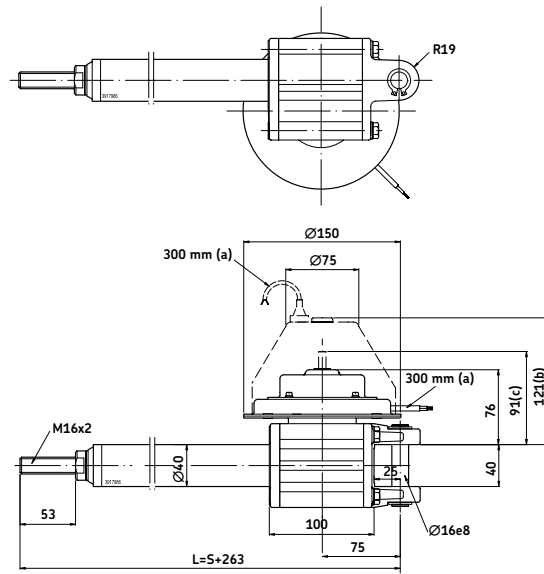
- Hand switch
- Foot switch
- Desk switch

* See page 379

Connecting diagram – DC version



Dimensional drawing – DC version

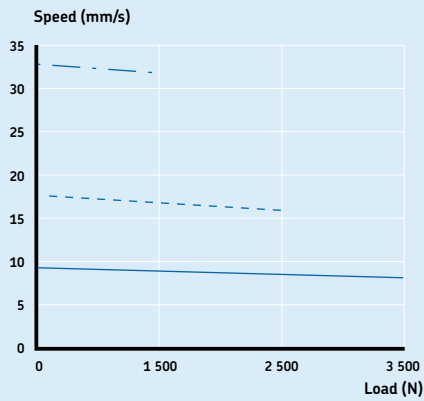


- Legend:
- S = stroke
 - L = retracted length
 - (a) = cable length
 - (b) = cover for brake (D24CB)
 - (c) = extended shaft (D24CS)

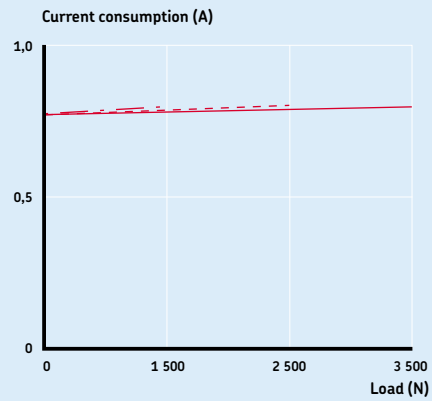
Technical data

	Unit	CAR 40 – DC version
Rated push load	N	2 000 to 6 000
Rated pull load	N	2 000 to 6 000
Speed (full load to no load)	mm/s	10 to 60
Stroke	mm	100 to 700
Retracted length	mm	S+263
Voltage	V DC	24
Power consumption	W	N/A
Current consumption	A	16
Duty cycle	%	25
Ambient temperature	°C	-20 to +70
Type of protection	IP	20/44
Weight	kg	5,8 to 8,4

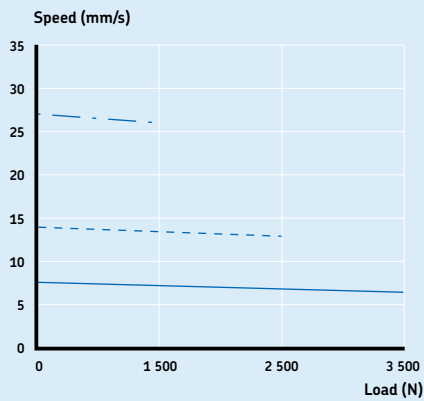
Performance diagrams – AC version



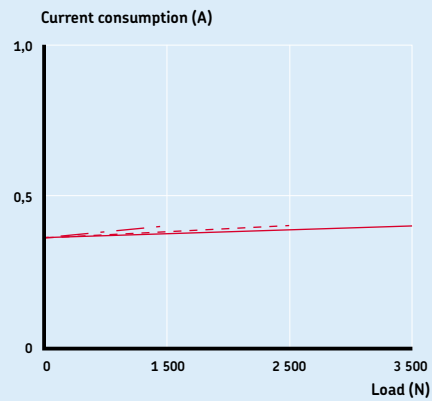
Speed-load diagram CAR 32 ... 120 VAC



Current-load diagram CAR 32 ... 120 VAC



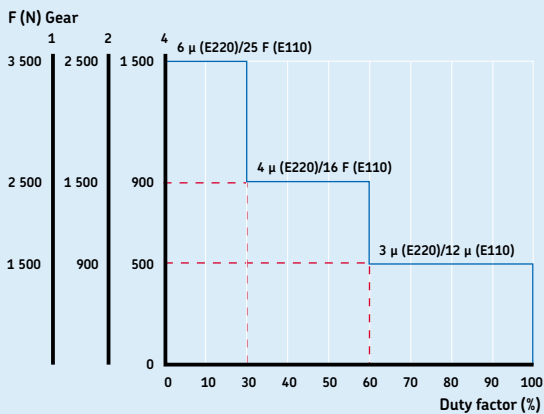
Speed-load diagram CAR 32 ... 230 VAC



Current-load diagram CAR 32 ... 230 VAC

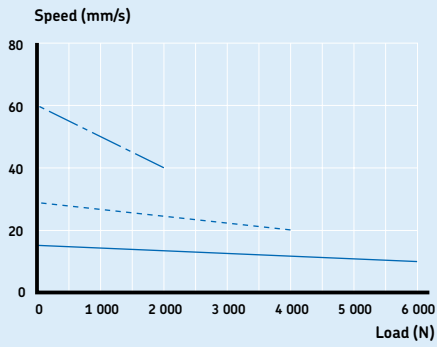


Duty cycle

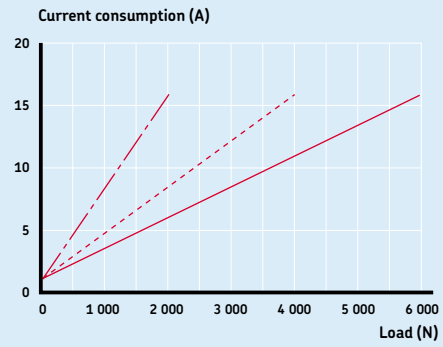


CAR 32 ... 230/120 VAC

Performance diagrams – DC version



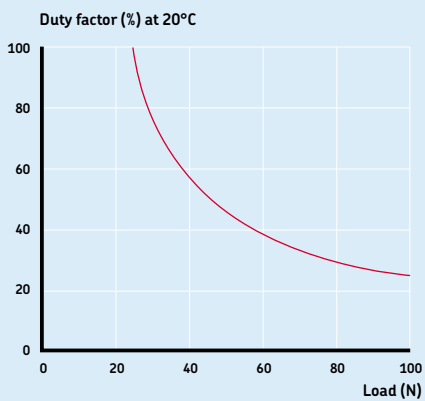
Speed-load diagram CAR 40 ... 24 V DC

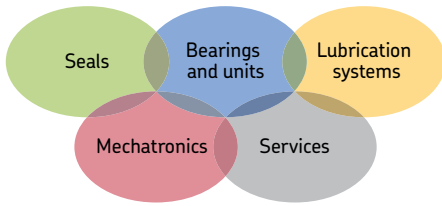


Current-load diagram CAR 40 ... 24 V DC



Duty cycle





The Power of Knowledge Engineering

Drawing on five areas of competence and application-specific expertise amassed over more than 100 years, SKF brings innovative solutions to OEMs and production facilities in every major industry worldwide. These five competence areas include bearings and units, seals, lubrication systems, mechatronics (combining mechanics and electronics into intelligent systems), and a wide range of services, from 3-D computer modelling to advanced condition monitoring and reliability and asset management systems. A global presence provides SKF customers uniform quality standards and worldwide product availability.

Ordering key

Dynamic load (N) / Speed (mm/s)			Motor options	
6 000/xx	4 000/xx	2 000/xx	No motor	0000
6 000/10	4 000/20	2 000/40	120 V AC/60 Hz, 1-phase, IP54	E110D
6 000/10	4 000/20	2 000/40	120 V AC/60 Hz, 1-phase, brake, IP20	E110DB
6 000/9	4 000/17	2 000/34	230 V AC/50 Hz, 1-phase, IP54	E220D
6 000/9	4 000/17	2 000/34	230 V AC/50 Hz, 1-phase, brake, IP20	E220DB
6 000/xx	4 000/xx	2 000/xx	No motor	0000
6 000/15-10	4 000/30-20	2 000/60-40	24 V DC, flat motor, IP44	D24D
6 000/15-10	4 000/30-20	2 000/60-40	24 V DC, flat motor, extended shaft, IP44	D24DS
6 000/15-10	4 000/30-20	2 000/60-40	24 V DC, flat motor, brake, IP20	D24DB
1	2	4		

C A R [] 4 0 X [] [] X [] [] / [] [] [] [] [] []

Type

Motor assembly:

Right
Left

R
L

Stroke (S):

100 mm
300 mm
500 mm
700 mm

100
300
500
700

Other stroke lengths

Option:

Friction clutch
Back-up nut

F
S

Options shown in italics are only available on demand. Contact SKF for more information on minimum quantities and additional costs.

© SKF is a registered trademark of the SKF Group

© SKF Group 2010

The contents of this publication are the copyright of the publisher and may not be reproduced (even extracts) unless prior written permission is granted. Every care has been taken to ensure the accuracy of the information contained in this publication but no liability can be accepted for any loss or damage whether direct, indirect or consequential arising out of the use of the information contained herein.

PUB MT/P8 10974 EN · August 2010

Printed in Sweden on environmentally friendly paper.



Horquillas SG

Hoja de datos

FESTO

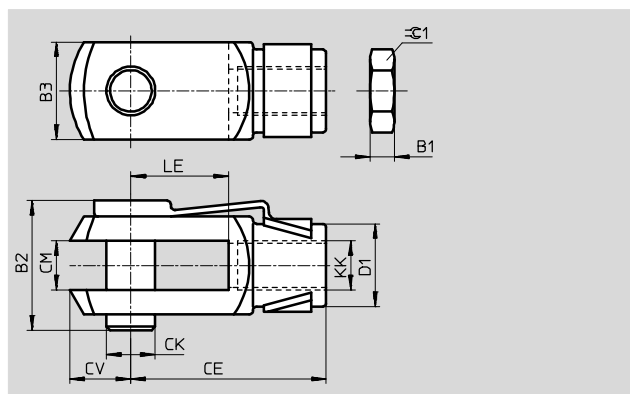
Horquilla SG

Dotación del suministro:

1 horquilla,
1 bulón con fijación elástica,
1 tuerca hexagonal (M4: DIN 934,
M6 ... M16: DIN 439)

Material:

Acero cincado
No contiene cobre ni PTFE
Conformidad con RoHS



Dimensiones y datos para efectuar los pedidos

KK	B1	B2	B3	CE	CK Ø	CM	CV	D1 Ø
M4	3,2	11,1	8	16±0,3	4h11	4B13	5	8
M6	3,2	16,2	12	24±0,3	6h11	6B13	7	10
M8	4	21,6	16	32±0,4	8h11	8B13	10	14
M10	5	26	20	40±0,4	10h11	10B13	12	18
M10x1,25								
M12	6	31,1	24	48±0,4	12h11	12+0,7/+0,15	14	20
M12x1,25								
M16	8	39,5	32	64±0,4	16h11	16+0,7/+0,15	19	26
M16x1,5								

KK	LE ±0,5	≈C1	ISO 8140	DIN 71752	KBK ¹⁾	Peso [g]	Nº de artículo	Tipo
M4	8	7	-	■	1	10	6532	SG-M4
M6	12	10	■	■	1	25	3110	SG-M6
M8	16	13	■	■	1	55	3111	SG-M8
M10	20	17	-	■	1	105	2674	SG-M10
M10x1,25			■	■	1	105	6144	SG-M10x1,25
M12	24	19	-	■	1	165	2675	SG-M12
M12x1,25			■	■	1	165	6145	SG-M12x1,25
M16	32	24	-	■	1	385	2676	SG-M16
M16x1,5			■	■	1	385	6146	SG-M16x1,5

1) Clase de resistencia a la corrosión CRC 1 según norma de Festo FN 940070

Componentes con poco riesgo de corrosión. Aplicación en interiores secos, como la protección para el almacenamiento o el transporte. Relativo también a piezas cubiertas con una tapa en zonas interiores que no son visibles u otras piezas aisladas en la aplicación (p. ej., ejes de accionamiento).

Cabezas de rótula SGS

Hoja de datos

FESTO

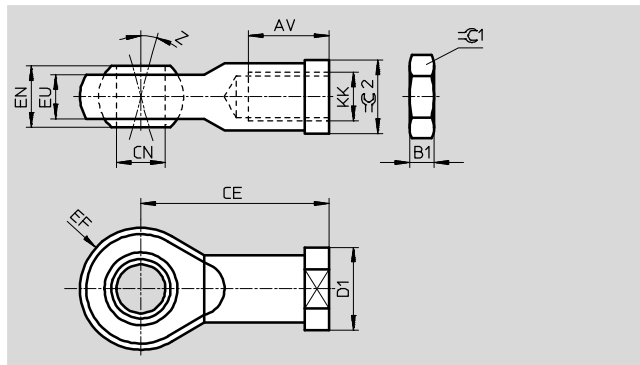
Cabeza de rótula SGS

Dotación del suministro:

- 1 cabeza de rótula,
- 1 tuerca hexagonal según DIN 439

Material:

- Acero cincado
- Conformidad con RoHS



Dimensiones y datos para efectuar los pedidos								
KK	AV	B1	CE	CN Ø H7	D1 Ø	EF ±0,5	EN	EU
M4	10 -2	2,2	27	5	11	9	8	6
M6	12 -2	3,2	30	6	13	10	9	6,8
M8	16 -2	4	36	8	16	12	12	9
M10	20 -2	5	43	10	19	14	14	10,5
M10x1,25								
M12	22 -2	6	50	12	22	16	16	12
M12x1,25								
M16	28 -2	8	64	16	27	21	21	15
M16x1,5								
M20x1,5	33 -2	10	77	20	34	25	25	18
M27x2	51 -2	13,5	110	30	50	35	37	25
M36x2	56 +2	18	125	35	58	40	43	28
M42x2	60 +2	21	142	40	65	45	49	33
M48x2	65 +2	24	160	50	75	58	60	45

KK	Z [°]	≈C1	≈C2	ISO 12240-4 serie de dimensiones K	KBK ⁽¹⁾	Peso [g]	Nº de artículo	Tipo
M4	13	7	9	-	2	21	9253	SGS-M4
M6	13	10	11	■	2	29	9254	SGS-M6
M8	13	13	14	■	2	53	9255	SGS-M8
M10	13	17	17	■	2	88	9256	SGS-M10
M10x1,25				-	2	87	9261	SGS-M10x1,25
M12	13	19	19	■	2	131	9257	SGS-M12
M12x1,25				-	2	129	9262	SGS-M12x1,25
M16	15	24	22	■	2	263	9258	SGS-M16
M16x1,5				-	2	259	9263	SGS-M16x1,5
M20x1,5	15	30	30	■	2	464	9264	SGS-M20x1,5
M27x2	15	41	41	-	2	1333	10774	SGS-M27x2
M36x2	15	55	50	■	2	2084	10775	SGS-M36x2
M42x2	15	65	55	■	2	3132	10776	SGS-M42x2
M48x2	12	75	65	■	2	5498	10777	SGS-M48x2

1) Clase de resistencia a la corrosión CRC 2 según norma de Festo FN 940070

Componentes con moderado riesgo de corrosión. Aplicación en interiores en caso de condensación. Piezas exteriores visibles con características esencialmente decorativas en la superficie que están en contacto directo con atmósferas habituales en entornos industriales.

Linear actuator

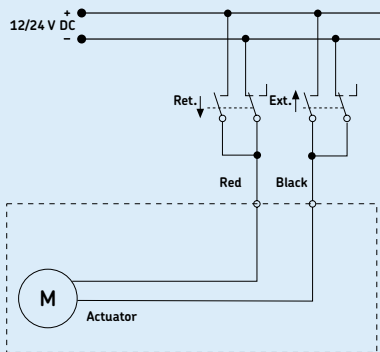
CAHB-21 series

Benefits

- High efficiency ball screw
- Extension tube (stainless steel)
- Protection tube (steel)
- Enhanced corrosion resistance
- Mechanical overload protection (clutch)
- Lubricated for service life
- Robust, designed for tough environment
- No back driving
- Certified (CE: EN 55011)

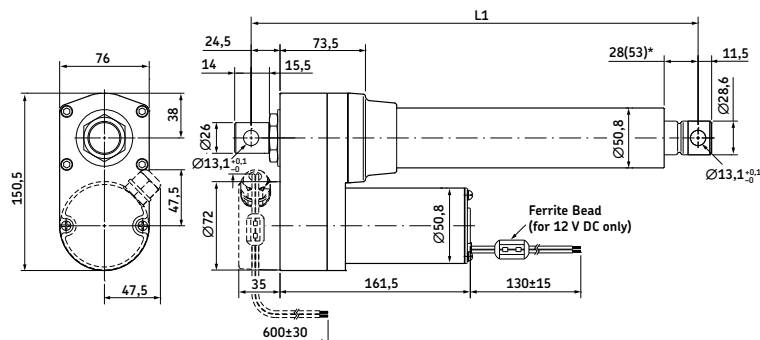


Connecting diagram

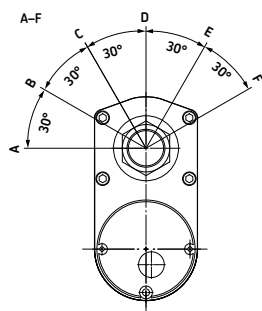


Dimensional drawing

Basic configuration (dashed line for optional limit switch)



Different rear attachment



Without limit switch:
 RED (+) & BLACK (-) = retraction
 RED (-) & BLACK (+) = extension
 With limit switch:
 RED (+) & BLACK (-) = extension
 RED (-) & BLACK (+) = retraction

Legend:
 L1 = retracted length
 * 53 = dimension with limit switch

	With limit switch ¹⁾						Without limit switch ²⁾					
Stroke (mm)	102	153	204	305	457	610	102	153	204	305	457	610
L1 Retracted length	393	444	495	659	811	964	317	368	419	521	735	888

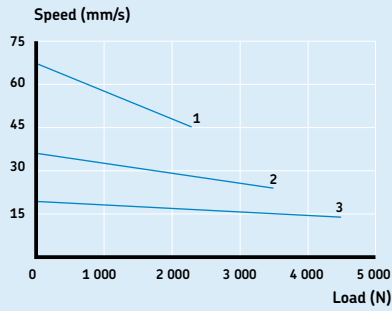
¹⁾ Tolerance: S, L1 and L2 = ± 5,0 mm (if S ≥ 305 mm, S = ± 7,5 mm)
²⁾ Tolerance: S = ± 2,5 mm and L1, L2 = ± 3,8 mm

Technical data

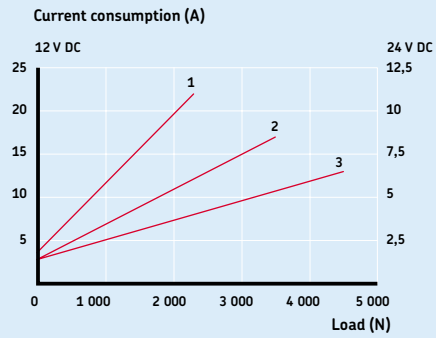
	Unit	CAHB-21... 1	CAHB-21... 2	CAHB-21... 3
Push load	N	2 300	3 500	4 500
Pull load	N	2 300	3 500	4 500
Speed (full load to no load)	mm/s	45 to 65	24 to 36	14 to 19
Stroke	mm	102 to 610	102 to 610	102 to 610
Retracted length	mm	—*	—*	—*
Voltage	V DC	12 or 24	12 or 24	12 or 24
Power consumption	W	N/A	N/A	N/A
Current consumption	12 V DC	22	17	13
	24 V DC	11	8,5	6,5
Duty cycle	%	25	25	25
Ambient temperature	°C	-40 to +85	-40 to +85	-40 to +85
Type of protection	IP	66	66	66
Weight (at 305 mm stroke)	kg	6,5	6,5	6,5
Color	—	Black	Black	Black

* see above table

Performance diagrams



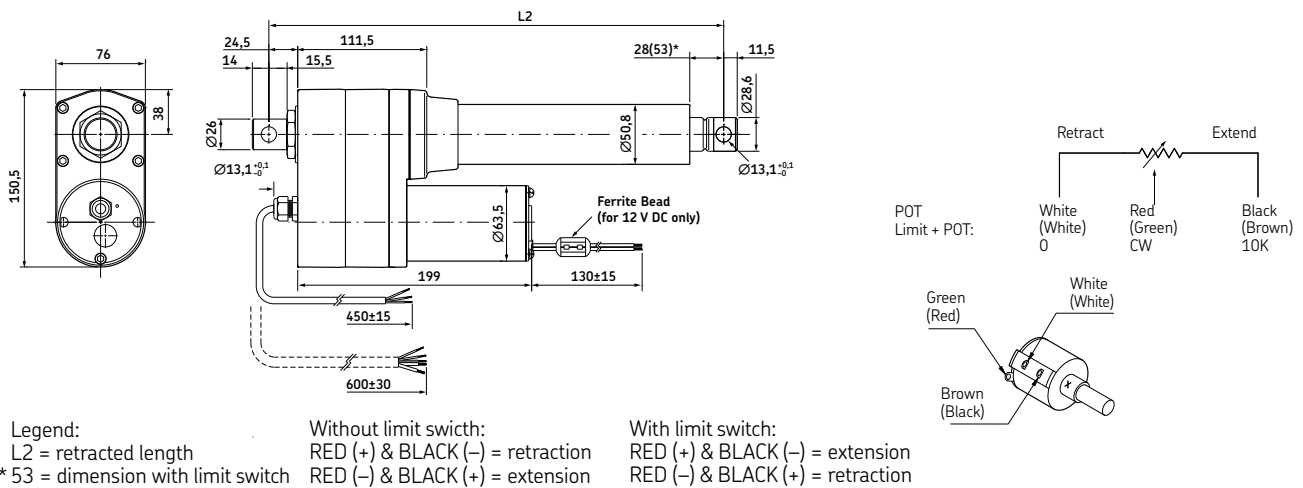
Speed-load diagram



Current-load diagram

Dimensional drawing

Optional potentiometer (dashed line for optional limit switch)



Stroke (mm)	With limit switch ¹⁾						Without limit switch ²⁾					
	102	153	204	305	457	610	102	153	204	305	457	610
L2 Retracted length	431	482	533	697	849	1 002	355	406	457	559	773	926

¹⁾ Tolerance: S and L2 = ± 5,0 mm (If S ≥ 305 mm, S = ± 7,5 mm)

²⁾ Tolerance: S = ± 2,5 mm and L2 = ± 3,8 mm

Potentiometer resolution

Stroke (mm)	102	153	204	305	457	610
Ohm/mm	59,0	59,0	29,5	29,5	9,84	9,84

C A H B - 2 1 - [] [] N - [] [] [] [] - A [] [] [] [] [] - 0 0 0

Type

Voltage:

12 V DC
24 V DC

A
B

Load:

2 300 N
3 500 N
4 500 N

1
2
3

Screw:

Ball screw

N

Stroke:

102 mm
153 mm
204 mm
305 mm
457 mm
610 mm

102
153
204
305
457
610

Retracted length:

Stroke

with L.S.¹⁾

102 mm
153 mm
204 mm
305 mm
457 mm
610 mm

w/o POT²⁾

393 mm
444 mm
495 mm
659 mm
811 mm
964 mm

with POT²⁾

431 mm
482 mm
533 mm
697 mm
849 mm
A02 mm (1 002 mm)

w/o L.S.¹⁾

102 mm
153 mm
204 mm
305 mm
457 mm
610 mm

317 mm
368 mm
419 mm
521 mm
735 mm
888 mm

355 mm
406 mm
457 mm
559 mm
773 mm
926 mm

IP:

Standard (IP 66)

A

Front attachment:

Standard (hole: Ø 13,1 mm)
Customized

A
X

Rear attachment:

Standard (0° and hole: Ø 13,1 mm)
30°
60°
90°
120°
150°
Customized

A
B
C
D
E
F
X

Option 1:

None
Limit switch (only for load version 4 500 N)

0
L

Option 2:

None
Potentiometer

0
P

Option 3:

None
Thermal protection

0
T

¹⁾L.S.= Limit switch
²⁾POT= Potentiometer





Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología
Sección de Ingeniería Industrial

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

PLANOS

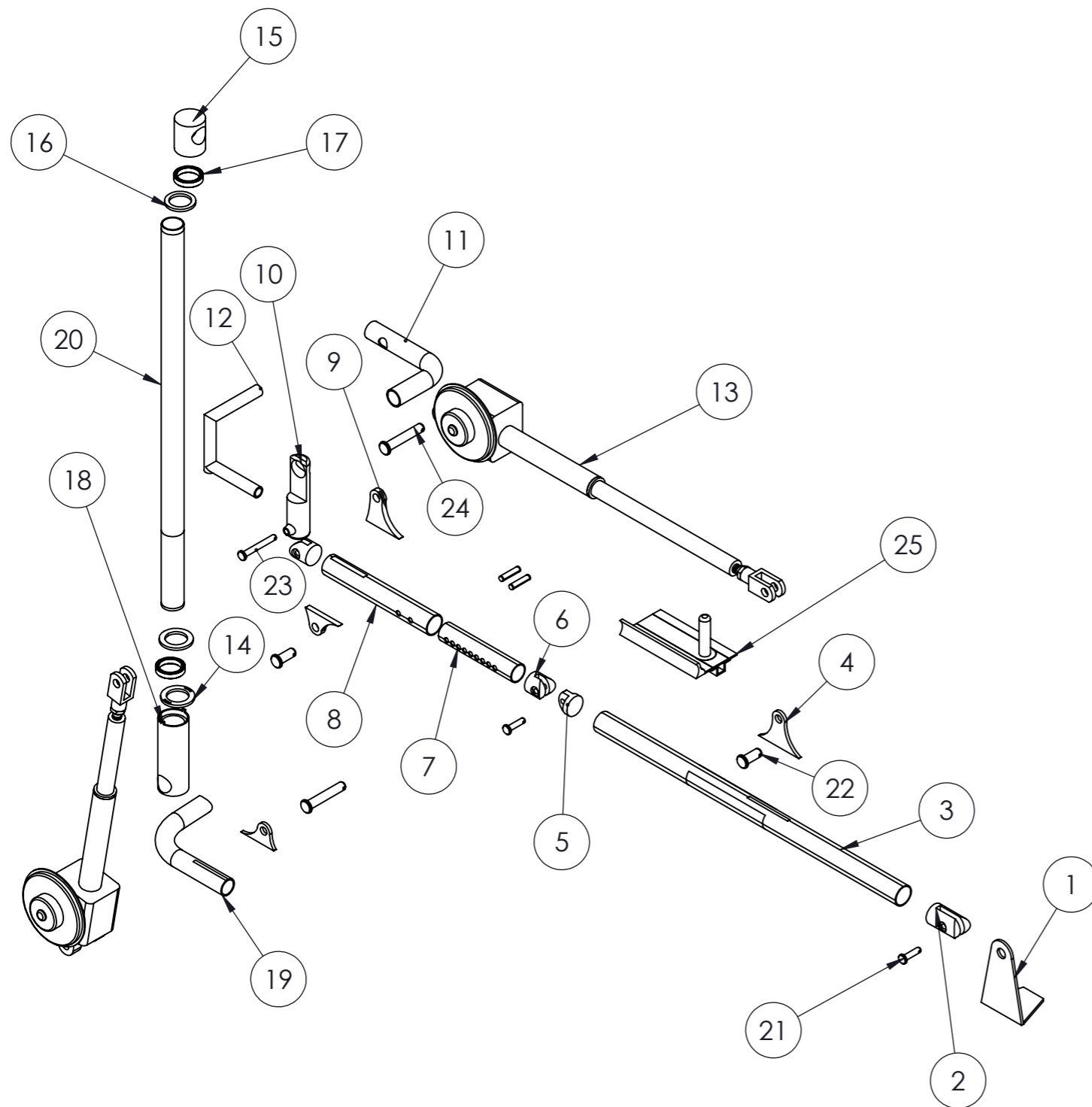
TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO MECÁNICO UN EXOESQUELETO PARA CARGAS
LIGERAS: BRAZOS**

Autores:

**Kevin Eduardo Caraballo Grillo
José Feliciano Gutiérrez González**

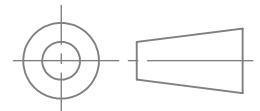
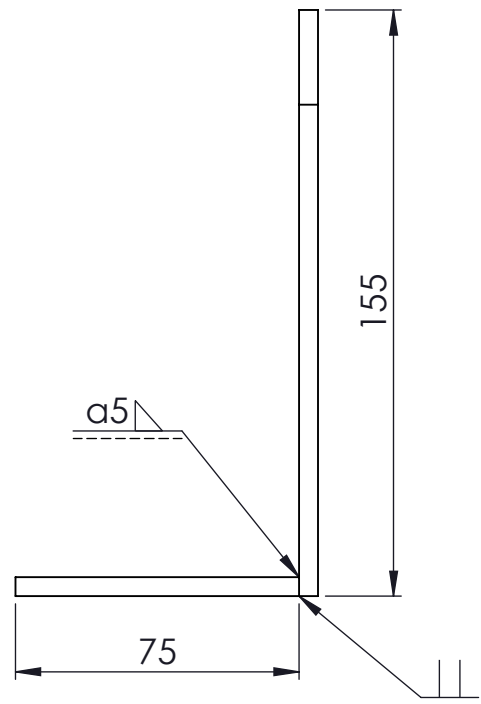
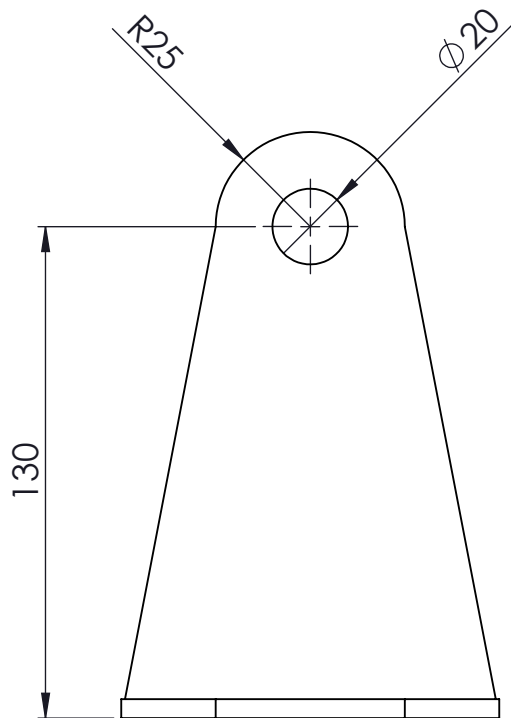
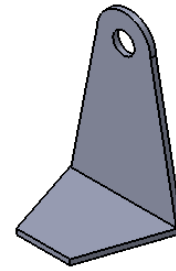
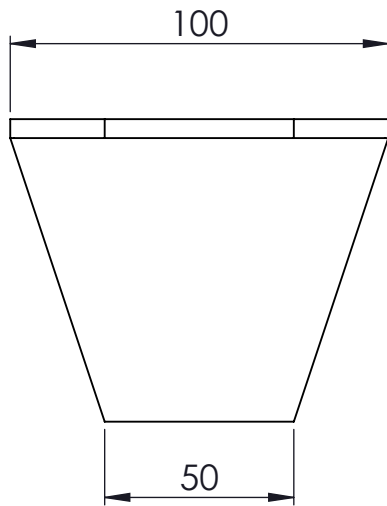
Julio 2015



LISTADO DE PIEZAS				
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL
	1	SOPORTE BRAZO	1.18	S235
	2	PASADOR	ISO 2341-B-16X90X4	
	1	PASADOR	ISO 2341-B-16X90X4D4	
	2	PASADOR	ISO 2341-B-16X40X4	
	4	PASADOR	ISO 2341-B-10X40X3.2	
	1	TUBO ESPALDA	1.17	S235
	1	L ACTUADOR	1.16	S235
	1	TAPA INFERIOR GIRO	1.15	S235
	2	RODAMIENTO DE BOLAS	ISO 15 -3840	
	2	TAPA RODAMIENTO	1.14	S235
	1	TAPA SUPERIOR GIRO	1.13	S235
	1	TAPA INFERIOR GIRO	1.12	S235
	1	ACTUADOR	SKF CAR 40	
	1	REFUERZO HOMBRO	1.11	S235
	1	L HOMBRO	1.10	S235
	1	SOPORTE HOMBRO	1.09	S355
	3	LENGÜETA 2	1.08	S355
	1	TUBO EXTERIOR BRAZO	1.08	S235
	1	TUBO INTERIOR BRAZO	1.07	S235
	2	RÓTULA DOBLE CODO	1.06	S355
	1	RÓTULA SIMPLE CODO	1.05	S355
	1	LENGÜETA 1	1.04	S355
	1	ANTEBRAZO	1.03	S235
	1	ROTULA PIEZA AGARRE	1.02	S355
	1	PIEZA DE AGARRE	1.01	S355
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

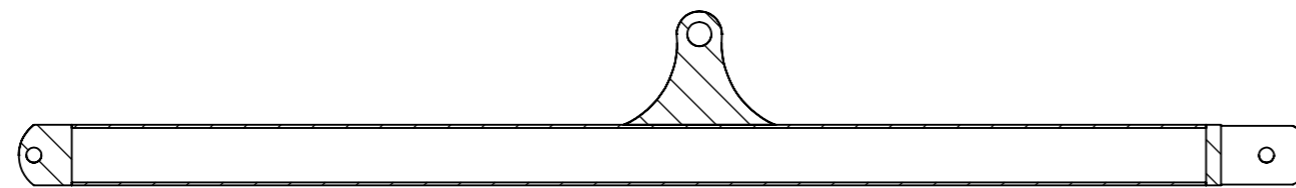
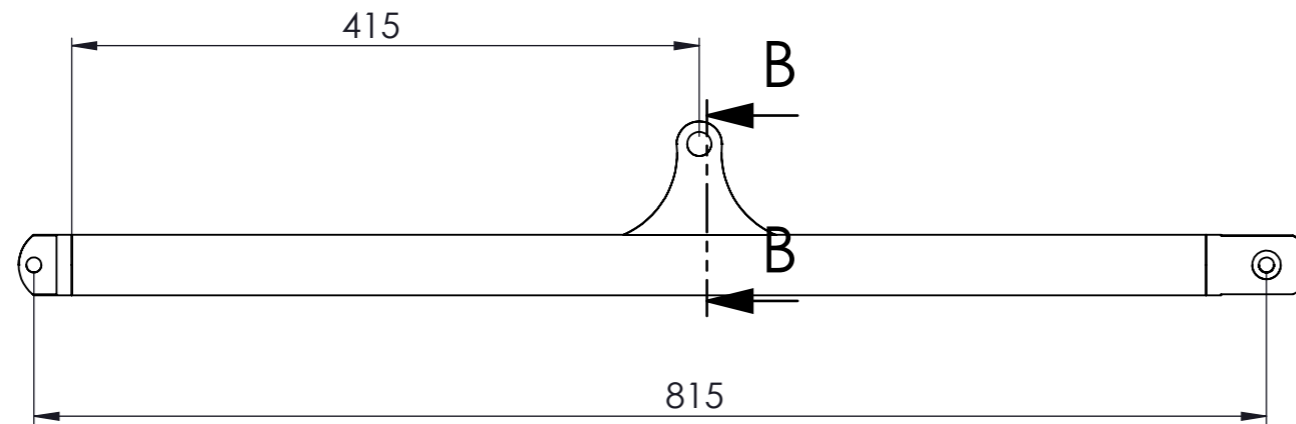
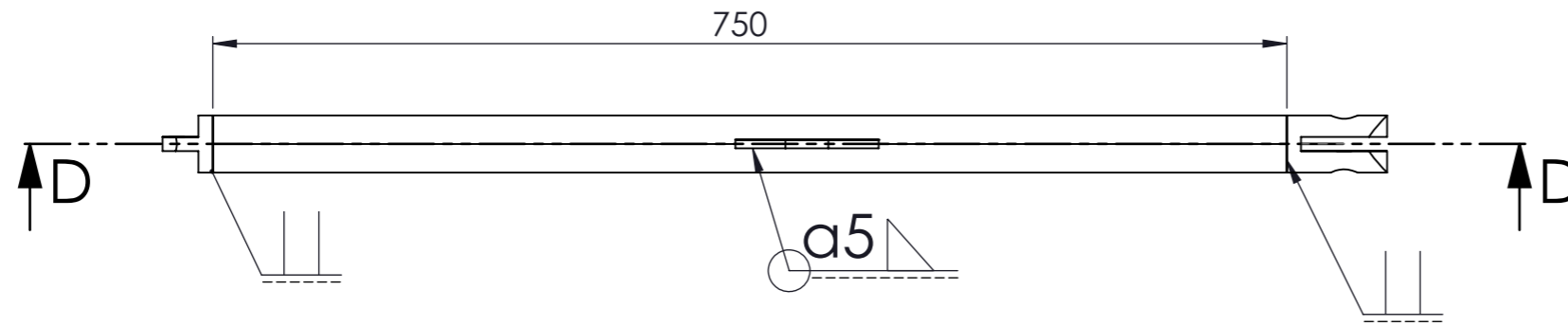
Fecha	Autores			ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo Jose Gutiérrez González		
Comprobado	JUL-2015			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA: 1:10	PLANO DE CONJUNTO BRAZO DISEÑO EN ACERO			Nº P. : 1 Nom.Arch: Plano 1. Conjunto en acero.sldrw



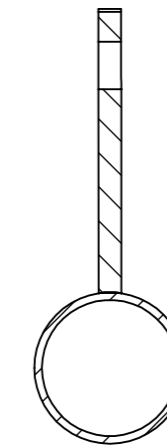
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL
1	1	PIEZA DE AGARRE	1.01	S355

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

Dibujado	Fecha	Autor		ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
	JUL 2015	KEVIN CARABALLO GRILLO JOSE GUTIÉRREZ GONZÁLEZ		
ESCALA: 1:2	CONJUNTO BRAZO		Nº P. : 2	
	PIEZA DE AGARRE		Nom.Arch: Plano 2. Pieza de agarre.slddrw	



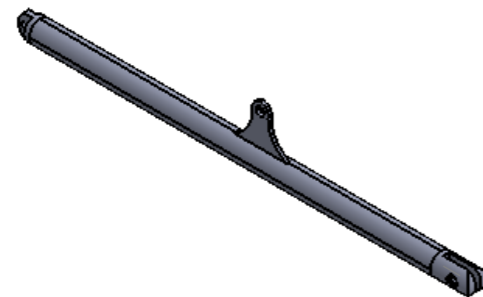
SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 5



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 2


TUBO 40X2 mm, DIN 2391

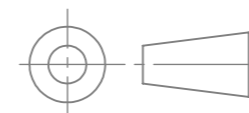
TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm

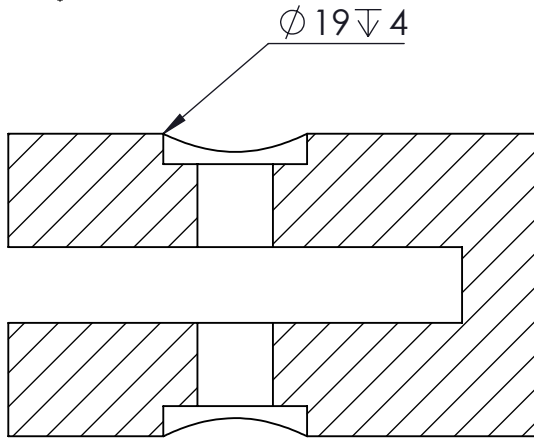
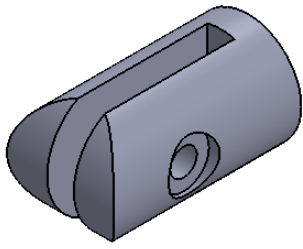


MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL
	4	LENGÜETA 1	1.04	S355
	3	ANTEBRAZO	1.03	S235
	2	ROTULA PIEZA AGARRE	1.02	S355

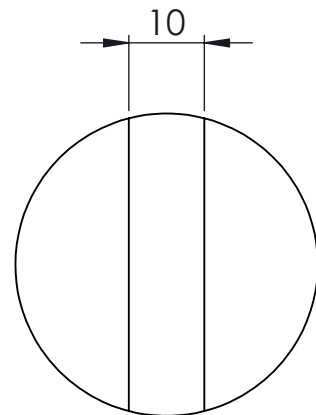
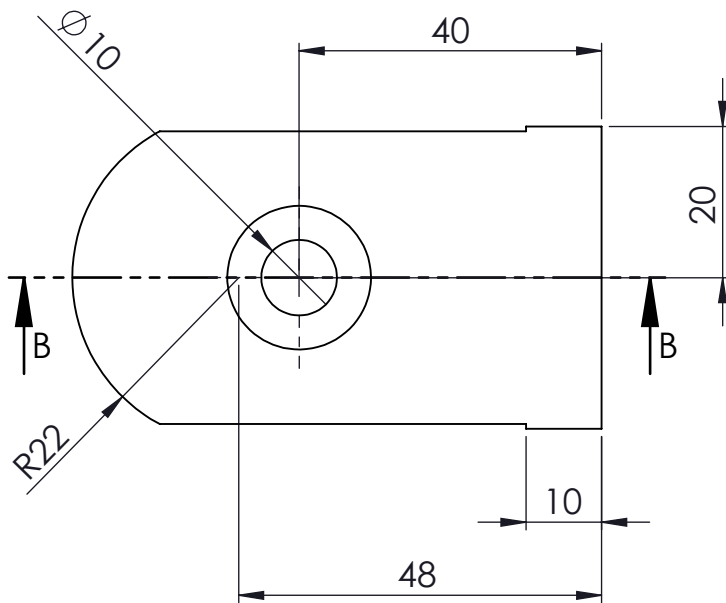
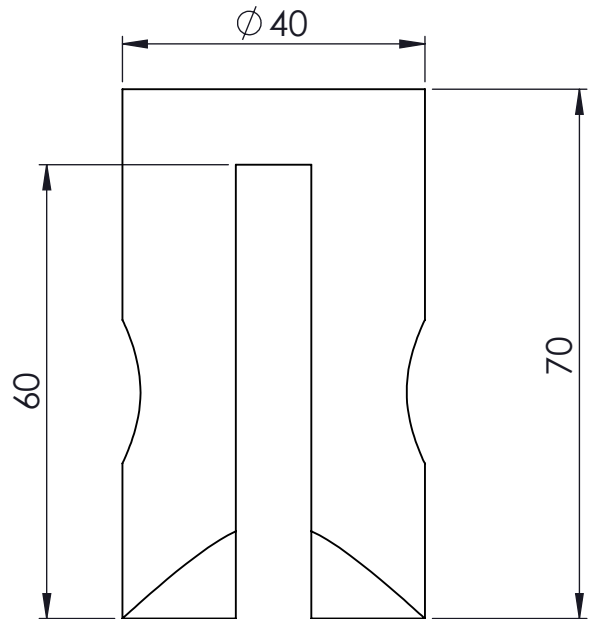
DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

	Fecha	Autores		 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo	Jose Gutiérrez González		
Comprobado	JUL-2015				
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA: 1:5	ANTEBRAZO			Nº P. :3	Nom.Arch:Plano 3. Antebrazo.slddrw

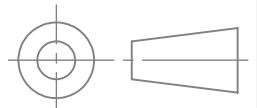




SECCIÓN B-B



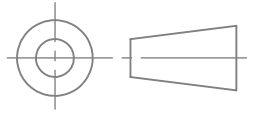
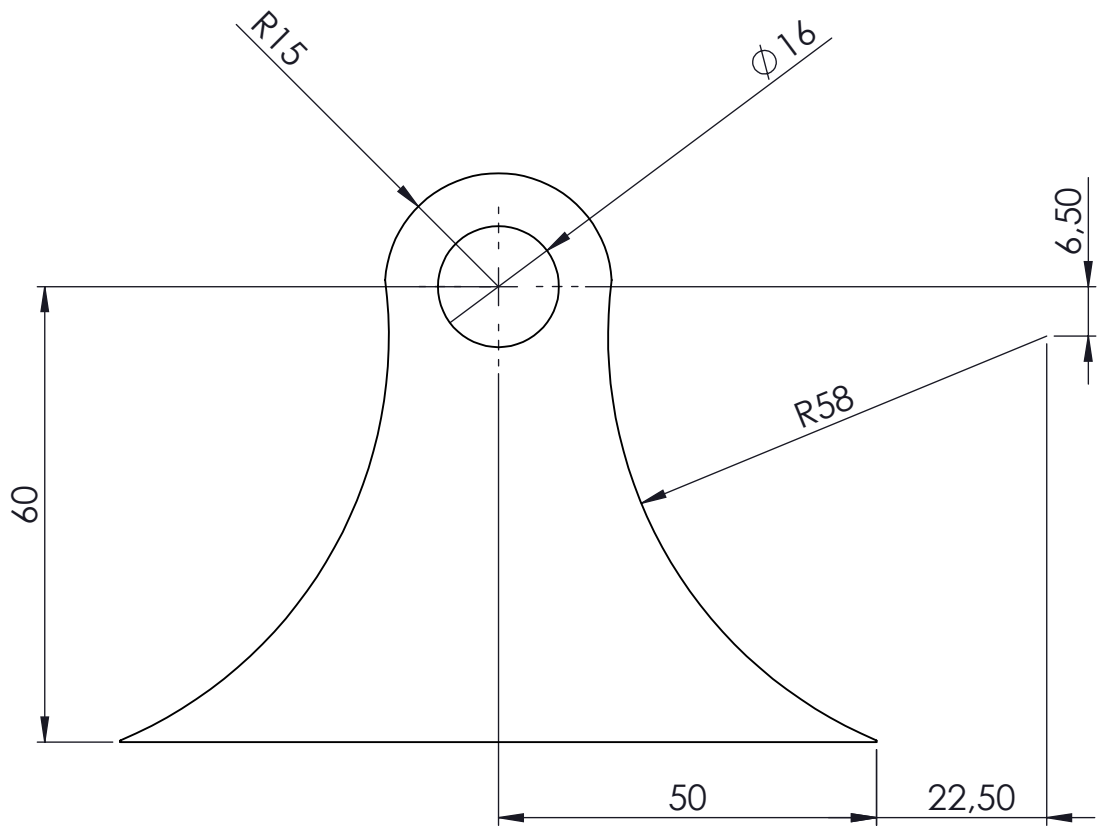
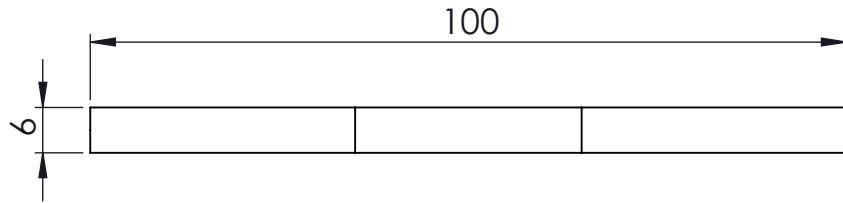
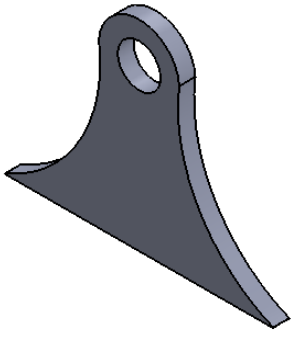
TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm



2	1	ROTULA PIEZA AGARRE	1.02	S355
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

	Fecha	Autor		ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL 2015	KEVIN CARABALLO GRILLO JOSE GUTIÉRREZ GONZÁLEZ		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA:	CONJUNTO BRAZO			Nº P. : 4
1:1	RÓTULA DOBLE PIEZA DE AGARRE			Nom.Arch: Plano 4. Rótula pieza agarre.slddrw

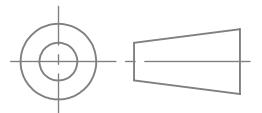
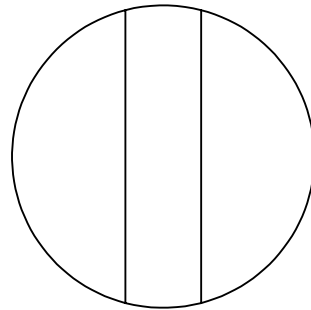
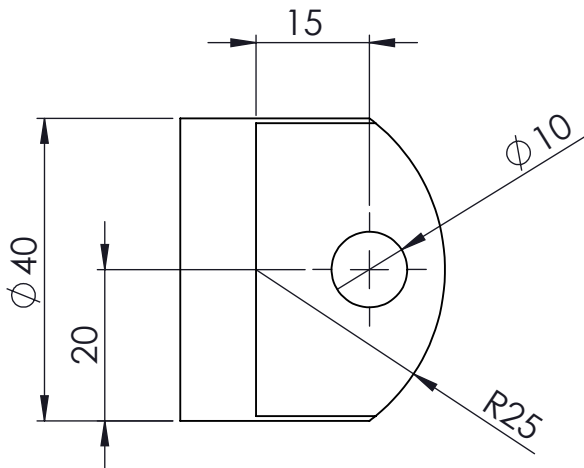
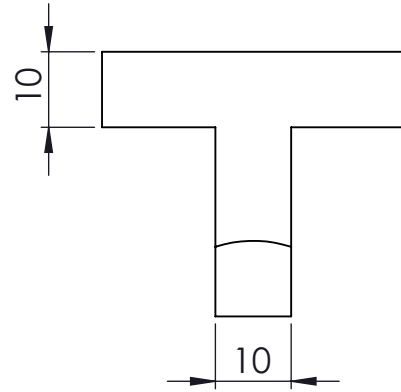


TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm

4	1	LENGÜETA 1	1.04	S355
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

Dibujado	Fecha	Autor		ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
	JUL 2015	KEVIN CARABALLO GRILLO JOSE GUTIÉRREZ GONZÁLEZ		
ESCALA: 1:1	CONJUNTO BRAZO		Nº P. : 5	
	LENGÜETA 1		Nom.Arch: Plano 5. Lengüeta.slddrw	

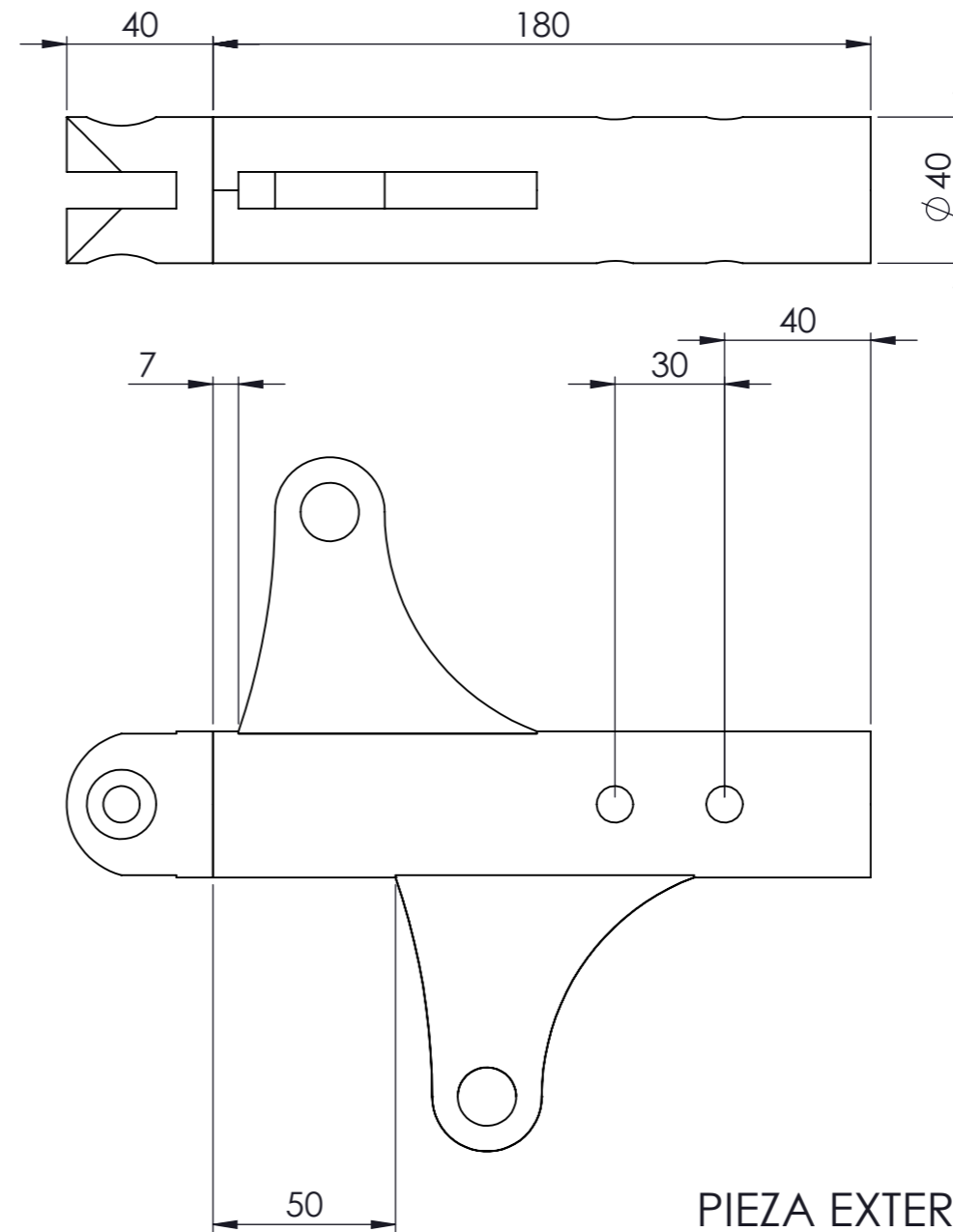
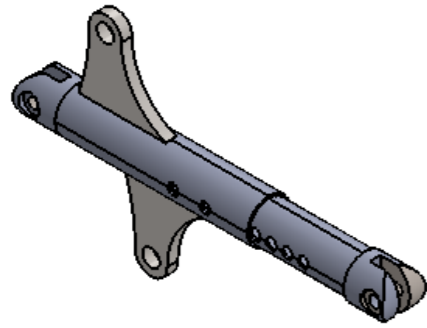


TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm

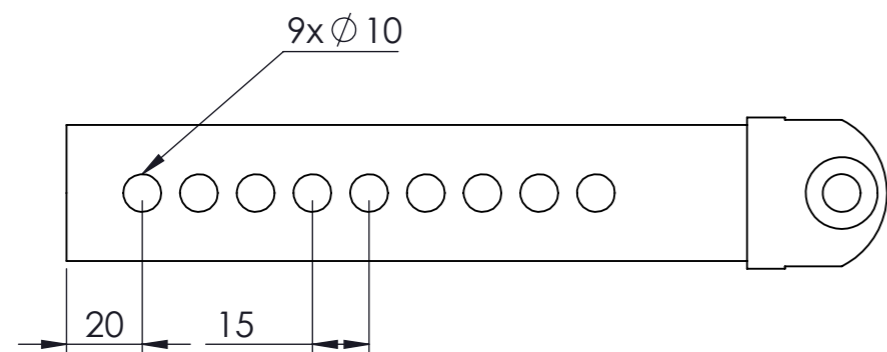
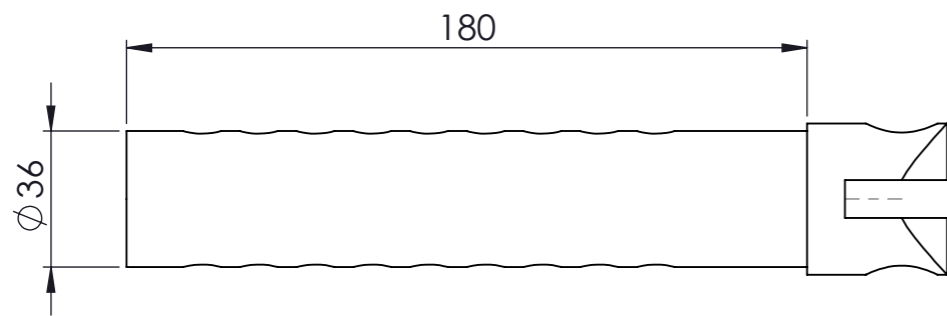
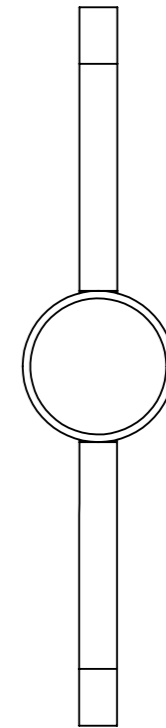
5	1	RÓTULA SIMPLE CODO	1.05	S355
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL 2015	KEVIN CARABALLO GRILLO JOSE GUTIÉRREZ GONZÁLEZ		
ESCALA:	CONJUNTO BRAZO			
1:1	RÓTULA SIMPLE CODO		Nom.Arch: Plano 6. Rótula simple.slddrw	

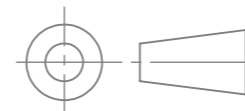


PIEZA EXTERIOR




PIEZA INTERIOR

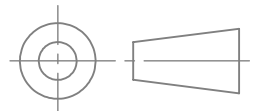
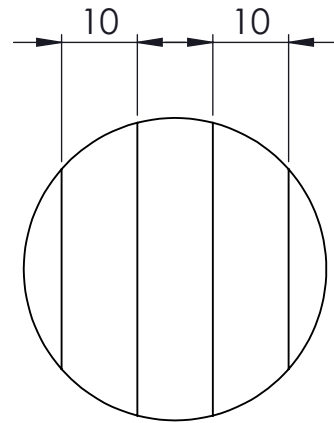
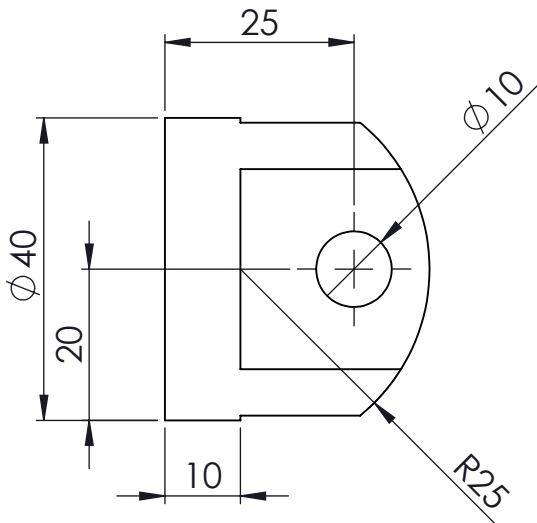
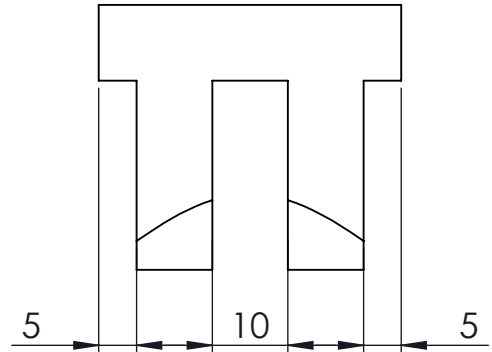
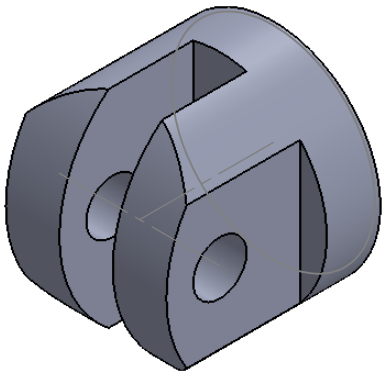
TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm
 TUBO 40X2 mm, DIN 2391



9	3	LENGÜETA 2	1.08	S355
8	1	TUBO EXTERIOR BRAZO	1.08	S235
7	1	TUBO INTERIOR BRAZO	1.07	S235
6	2	RÓTULA DOBLE CODO	1.06	S355
5	1	RÓTULA SIMPLE CODO	1.05	S355
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS


	Fecha	Autores		 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo Jose Gutiérrez González			
Comprobado	JUL-2015				
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA:	1:2				Nº P. :7
	BRAZO				Nom.Arch: Plano 7. Brazo.slddrw

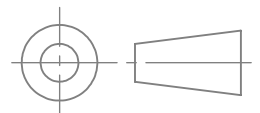
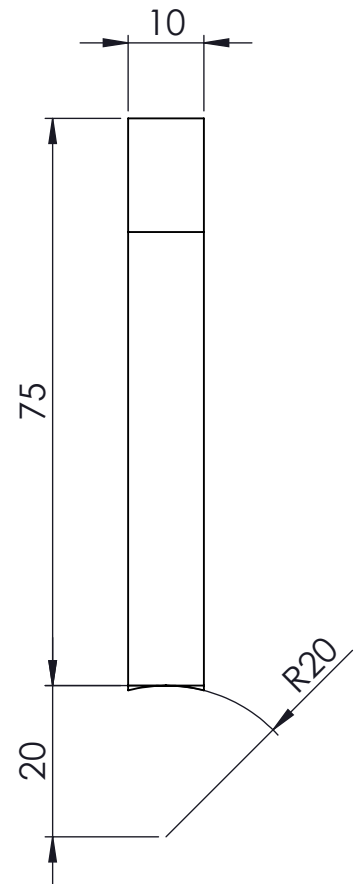
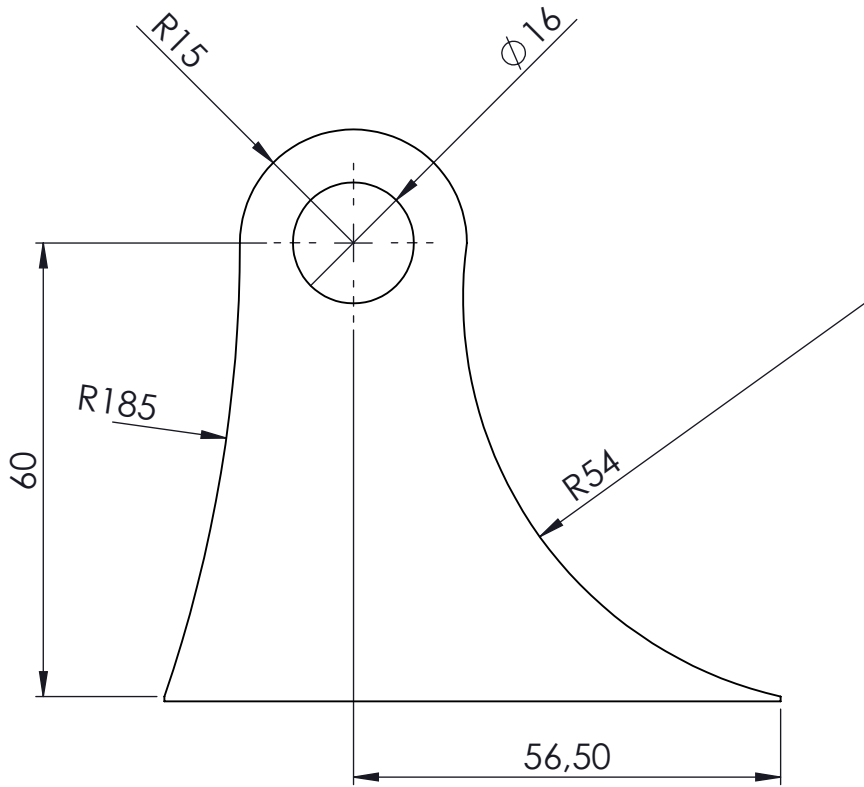
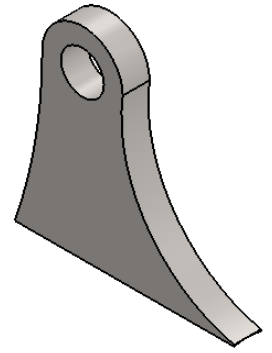
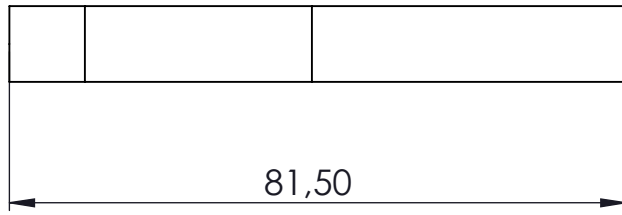


TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm

6	2	RÓTULA DOBLE CODO	1.06	S355
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

	Fecha	Autor		ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL 2015	KEVIN CARABALLO GRILLO JOSE GUTIÉRREZ GONZÁLEZ		
ESCALA:	CONJUNTO BRAZO			
1:1	RÓTULA DOBLE		Nom.Arch: Plano 8. Rótula doble.slddrw	

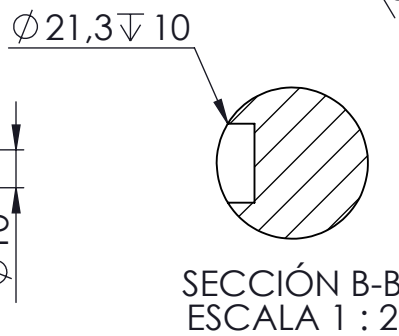
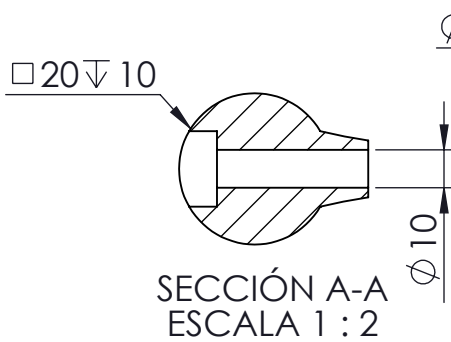
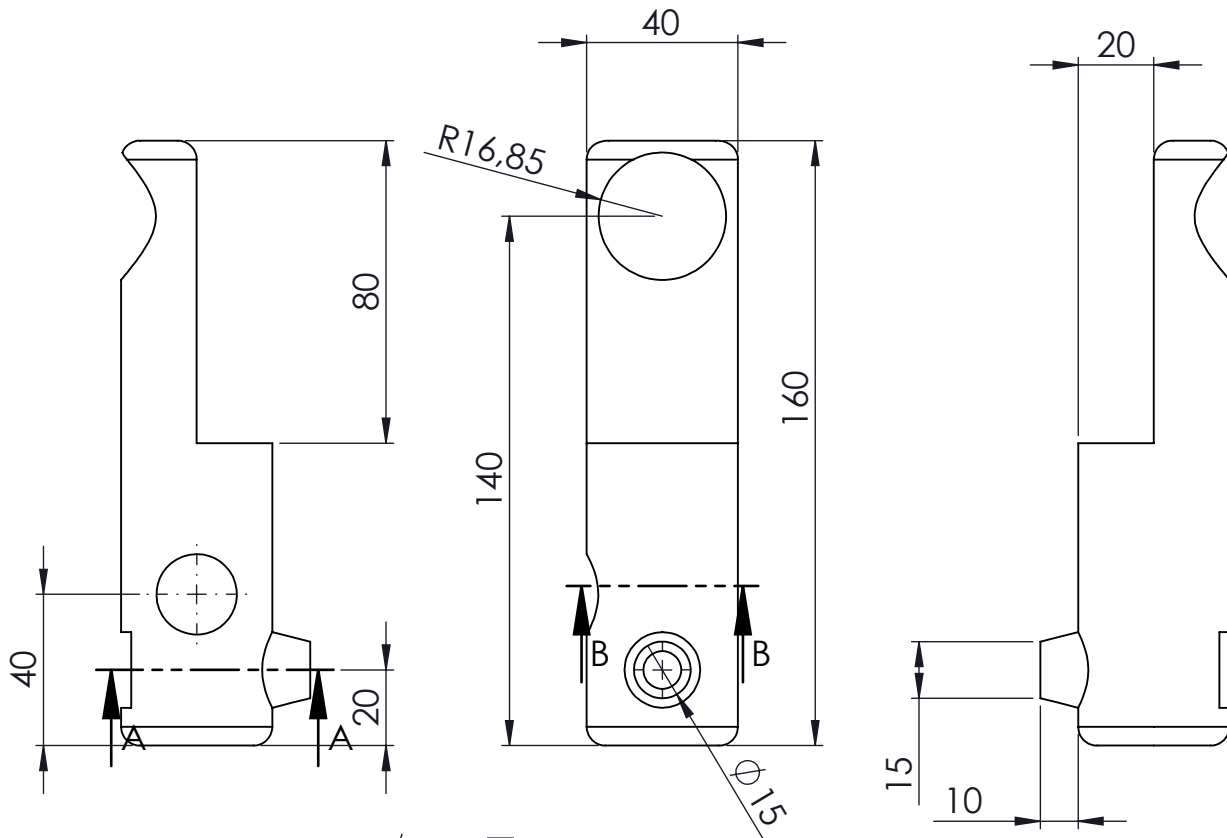
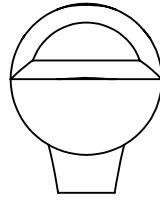
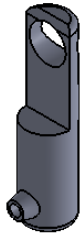


TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm

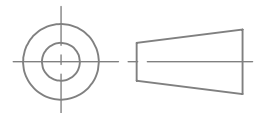
9	3	LENGÜETA 2	1.08	S355
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

	Fecha	Autor	 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL 2015	KEVIN CARABALLO GRILLO JOSE GUTIÉRREZ GONZÁLEZ	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA:	CONJUNTO BRAZO		Nº P. : 9
1:1	LENGÜETA 2		Nom.Arch: Plano 9. Lengüeta 2. slddrw



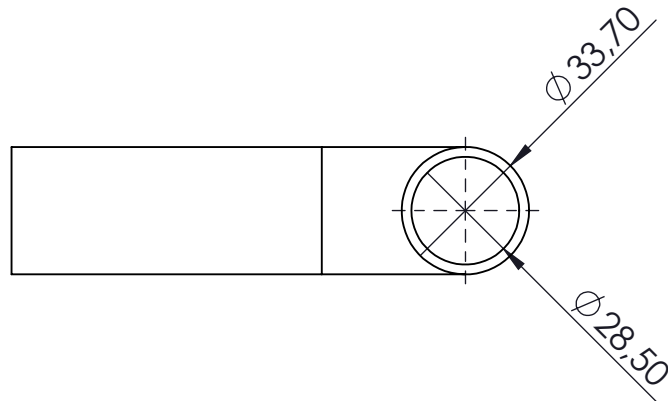
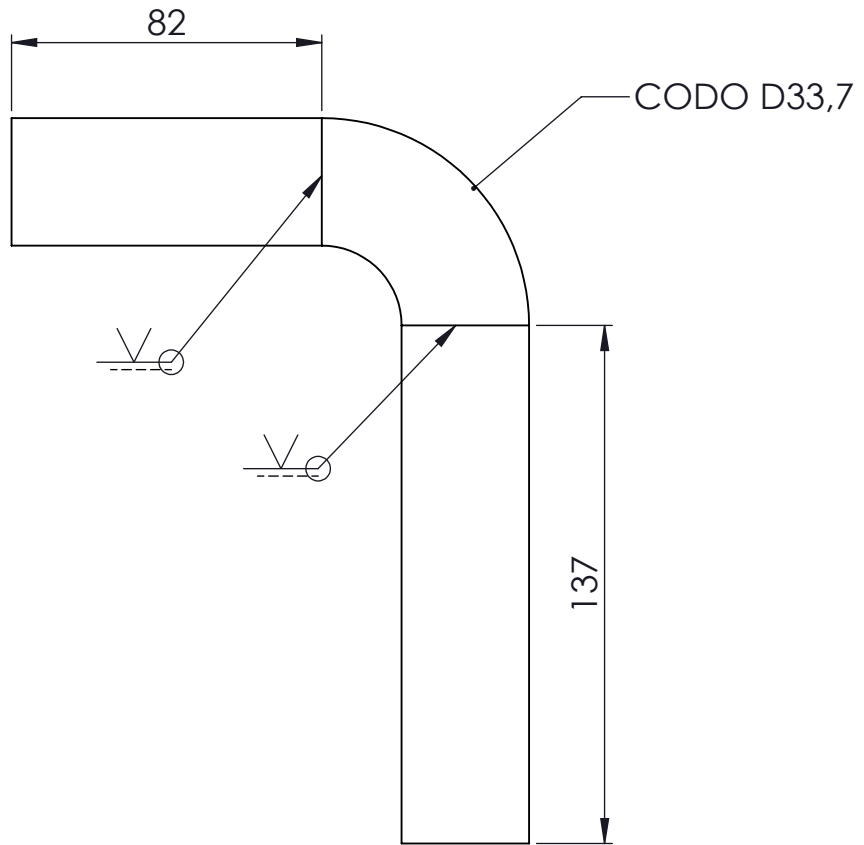
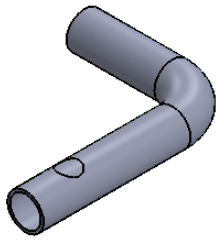
TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm



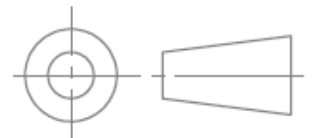
10	1	SOPORTE HOMBRO	1.09	S355
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL 2015	KEVIN CARABALLO GRILLO JOSE GUTIÉRREZ GONZÁLEZ		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA: 1:2	CONJUNTO BRAZO		Nº P. : 10	Nom.Arch: Soporte hombro.slddrw
	SOPORTE HOMBRO			



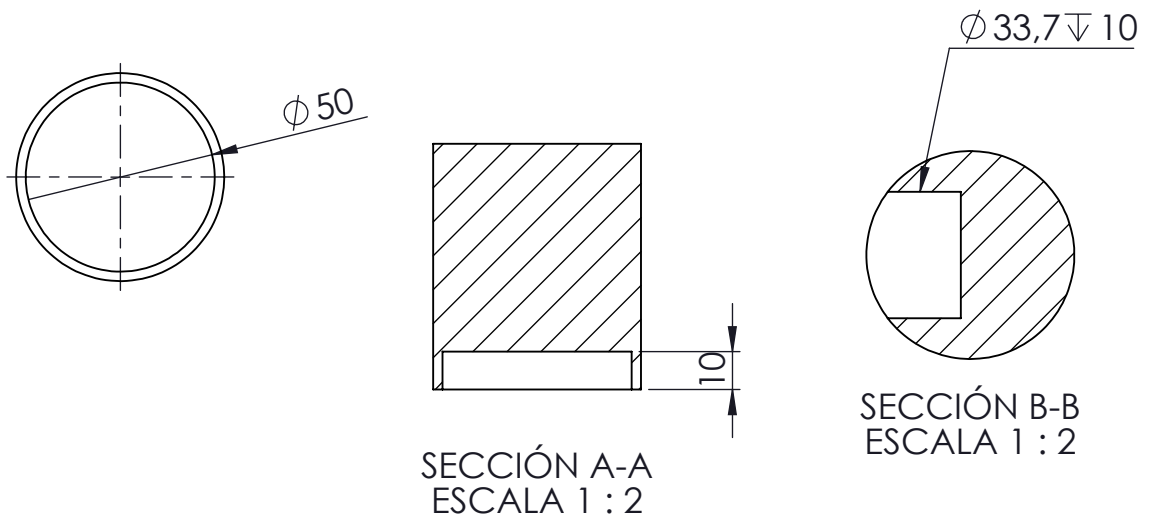
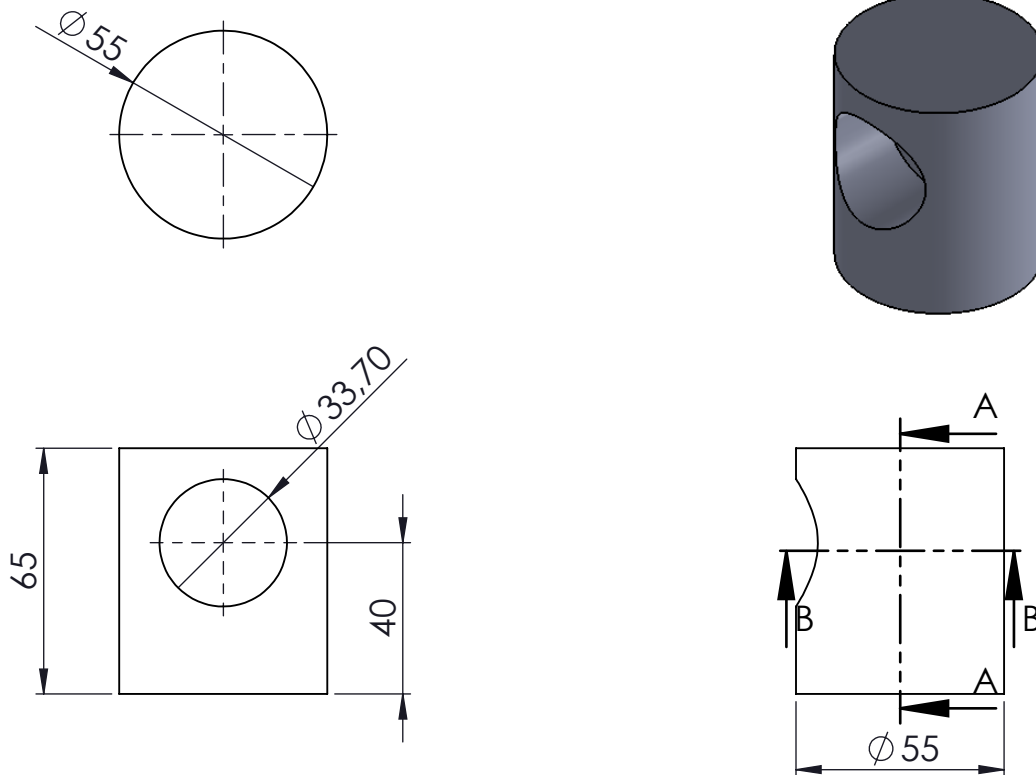
TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm
 TUBO D33,7 mm, DIN 2458



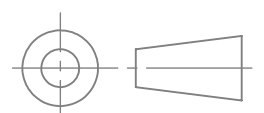
11	1	L HOMBRO	1.10	S235
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

	Fecha	Autor	 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL 2015	KEVIN CARABALLO GRILLO JOSE GUTIÉRREZ GONZÁLEZ	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:2	CONJUNTO BRAZO		Nº P. : 11
	L HOMBRO		Nom.Arch:Plano 11. L Hombro.slddw



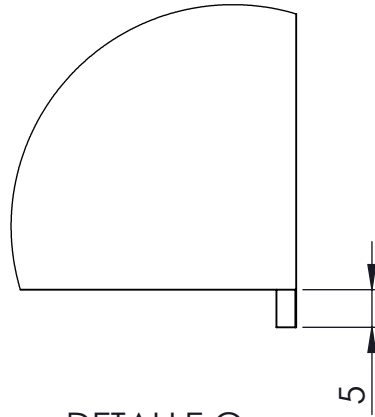
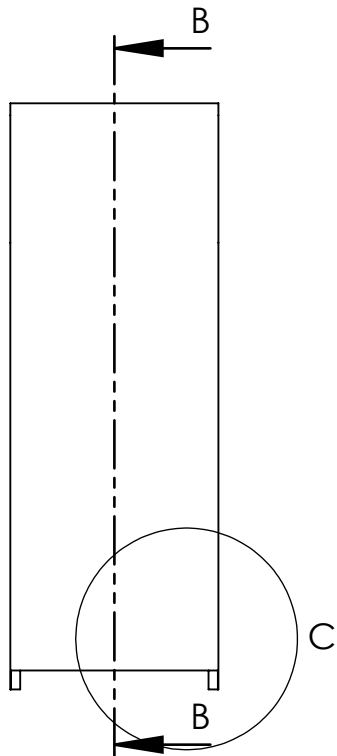
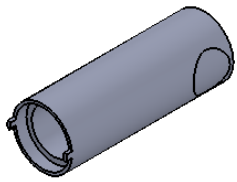
TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm



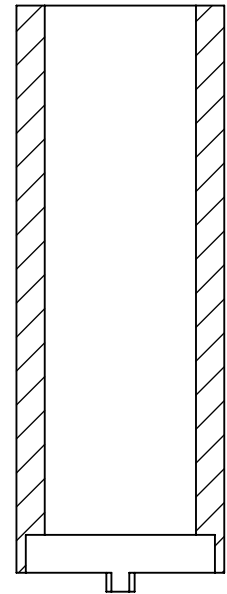
15	1	TAPA SUPERIOR GIRO	1.13	S235
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

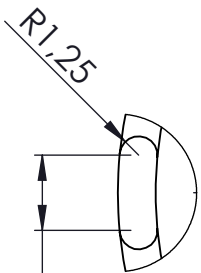
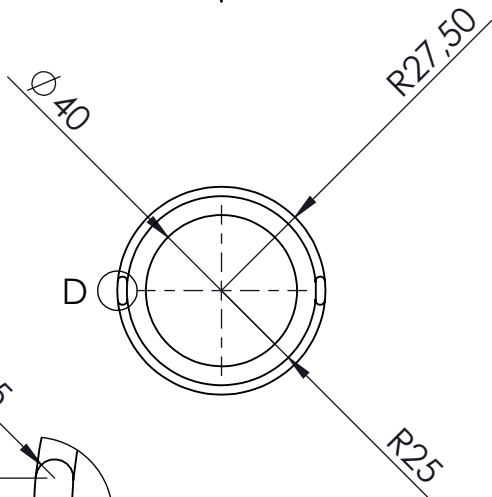
Dibujado	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
	JUL 2015	KEVIN CARABALLO GRILLO JOSE GUTIÉRREZ GONZÁLEZ		
ESCALA: 1:2	CONJUNTO BRAZO		Nº P. : 12	Nom.Arch: Plano 12.Tapa superior giro.slddrw
	TAPA SUPERIOR TUBO DE GIRO			



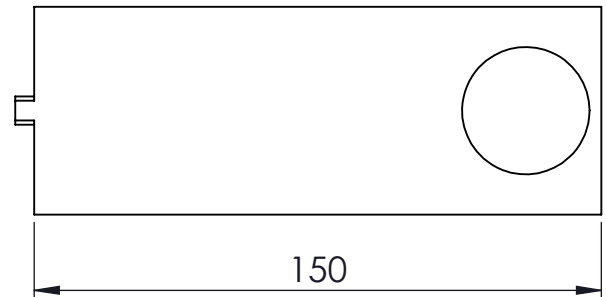
DETALLE C
ESCALA 1 : 1



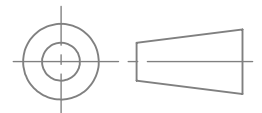
SECCIÓN B-B



DETALLE D
ESCALA 2 : 1



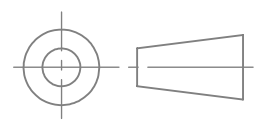
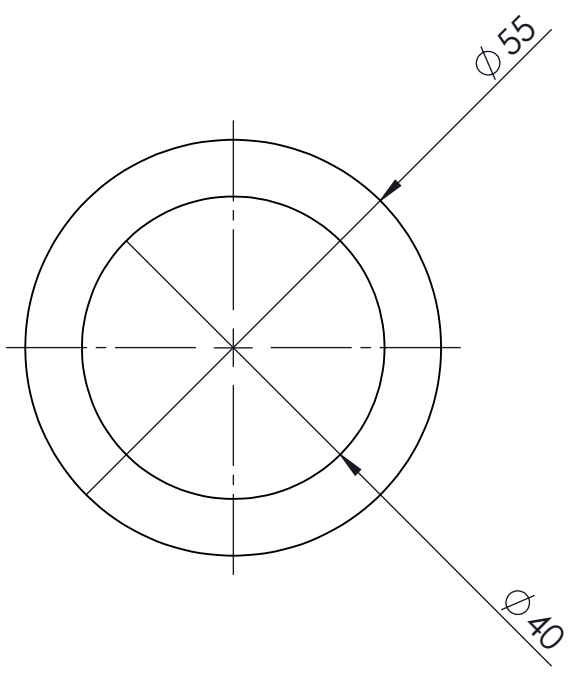
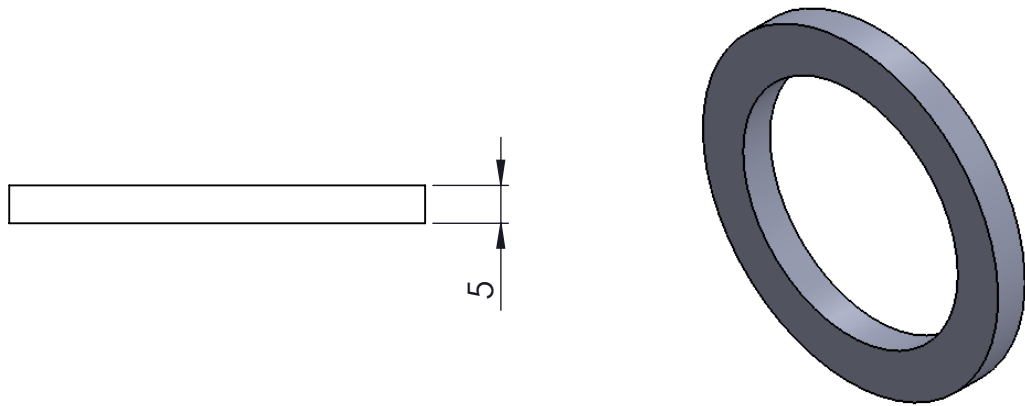
TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm



MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL
14	1	TAPA INFERIOR GIRO	1.12	S235

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

Dibujado	Fecha	Autor		ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
	JUL 2015	KEVIN CARABALLO GRILLO JOSE GUTIÉRREZ GONZÁLEZ		
ESCALA:	CONJUNTO BRAZO		Nº P. : 13	
1:2	TAPA INFERIOR TUBO GIRO		Nom.Arch: Tapa inferior giro.sldrw	



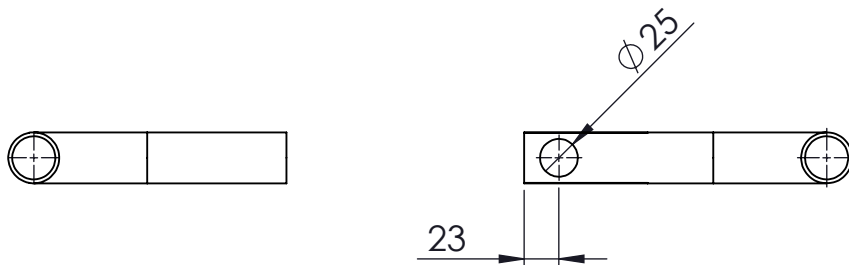
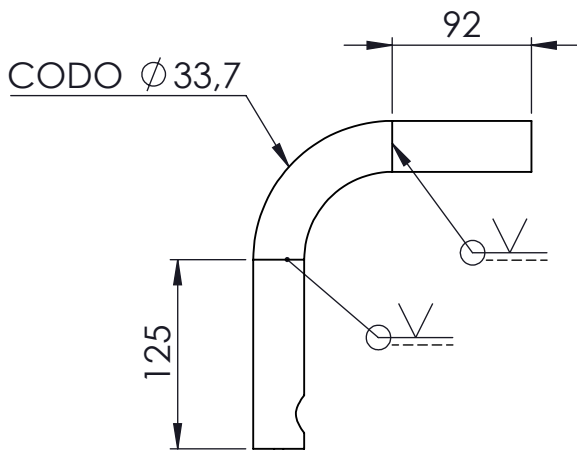
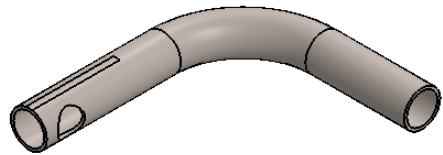
TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm

16	2	TAPA RODAMIENTO	1.14	S235
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

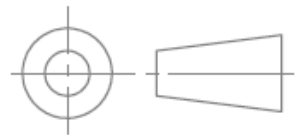
Dibujado	Fecha	Autor		ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
	JUL 2015	KEVIN CARABALLO GRILLO JOSE GUTIÉRREZ GONZÁLEZ		

ESCALA: 1:1	CONJUNTO BRAZO	Nº P. : 14 Nom.Arch: Plano 14. Base rodamientos.slddrw
	BASE RODAMIENTOS	



TUBO 33,7X2 DIN 2458

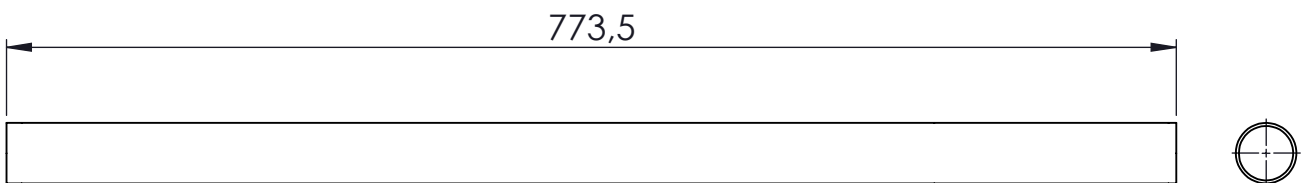
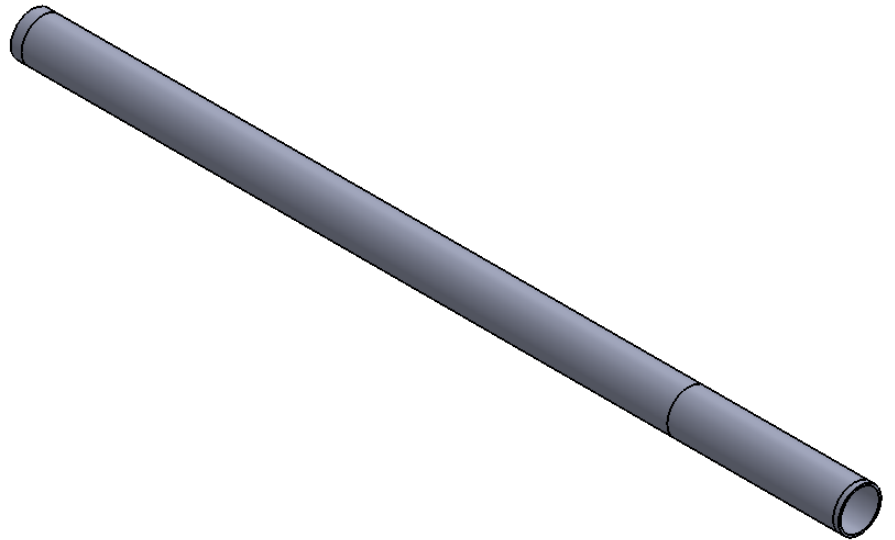
TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm



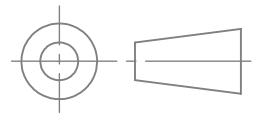
19	1	L ACTUADOR	1.16	S235
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

	Fecha	Autor		ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL 2015	KEVIN CARABALLO GRILLO JOSE GUTIÉRREZ GONZÁLEZ		
ESCALA:	CONJUNTO BRAZO			
1:5	L ACTUADOR		Nom.Arch: L Actuador.sliddrw	



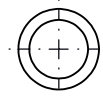
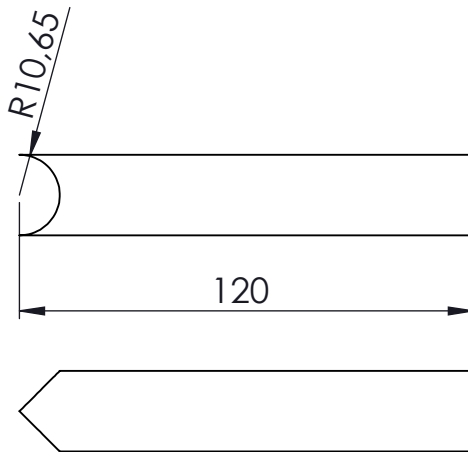
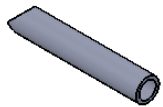
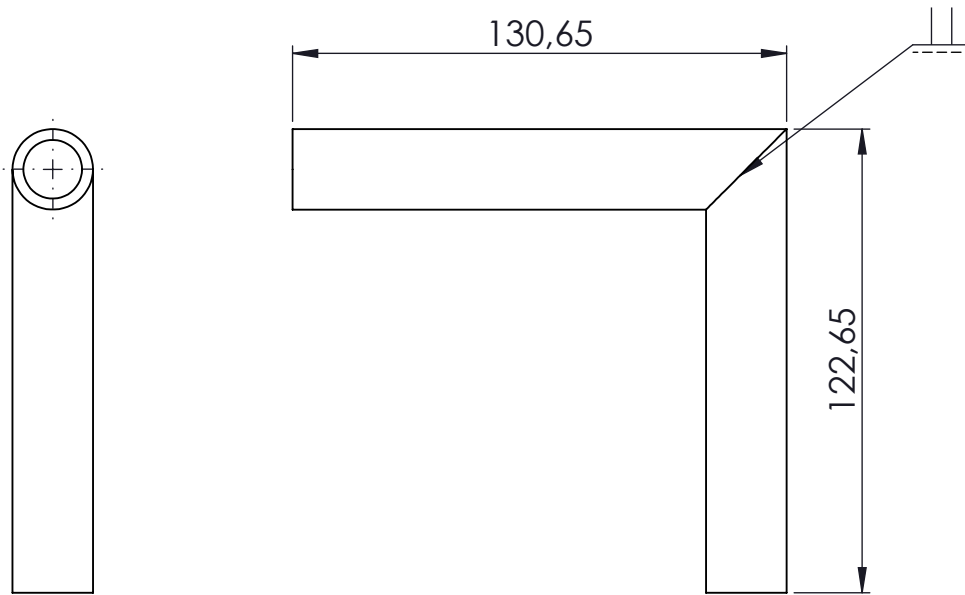
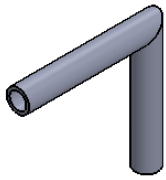
TUBO 40X2 mm, DIN 2391
 TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm



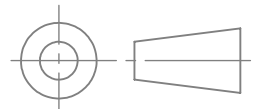
20	1	TUBO ESPALDA	1.17	S235
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL 2015	KEVIN CARABALLO GRILLO JOSE GUTIÉRREZ GONZÁLEZ		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA: 1:5	CONJUNTO BRAZO		Nº P. : 16	
	TUBO ESPALDA		Nom.Arch: Plano 16. Tubo espalda.slddrw	

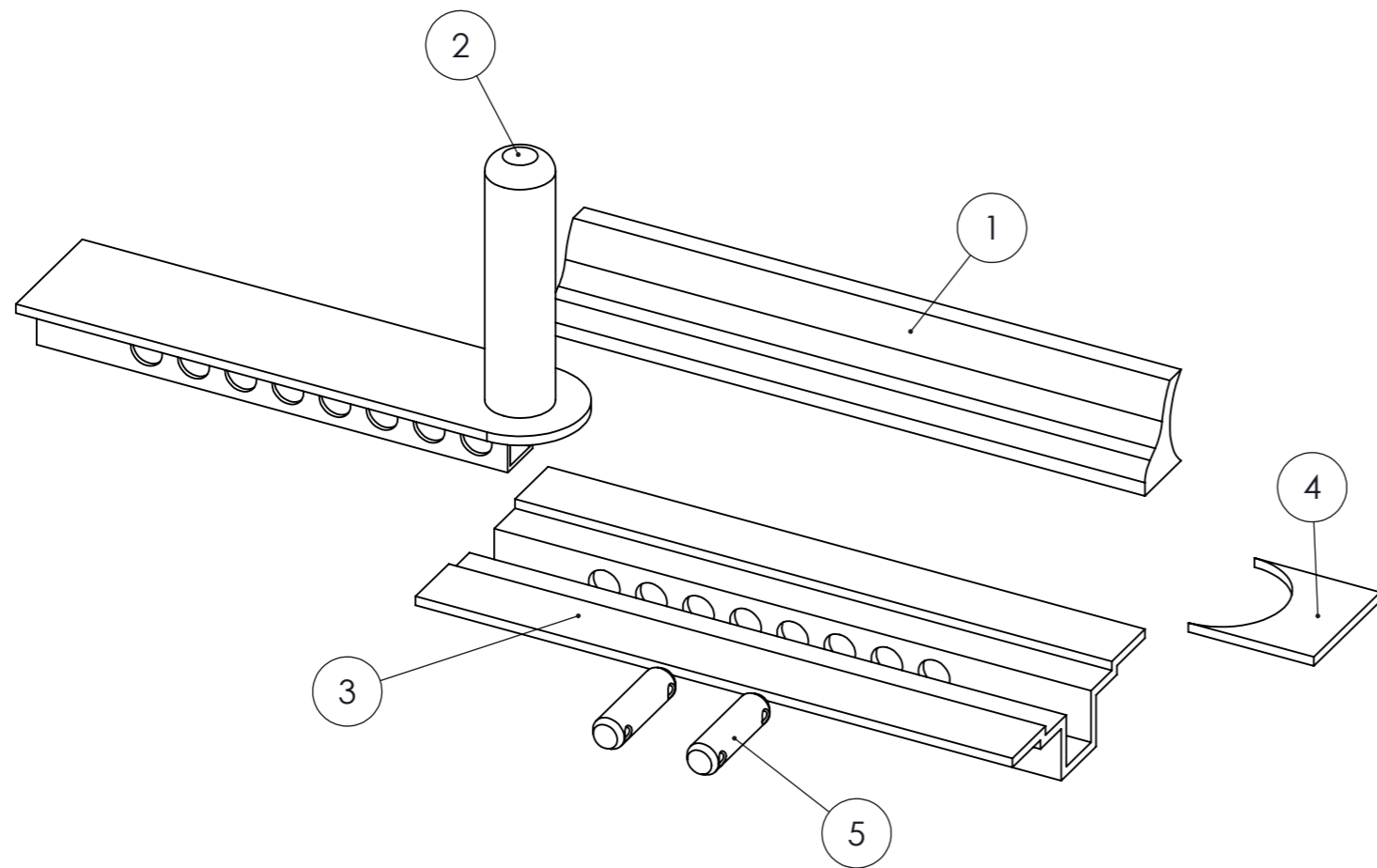


TUBO 21,3X2 mm, DIN 2458
TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm



DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

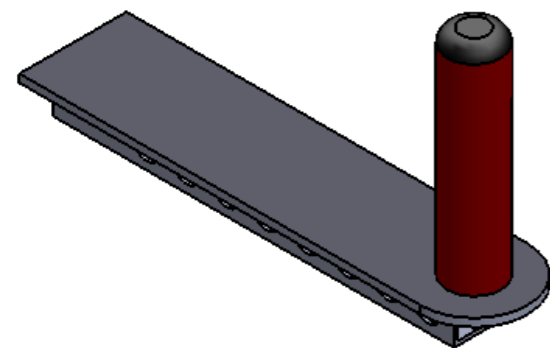
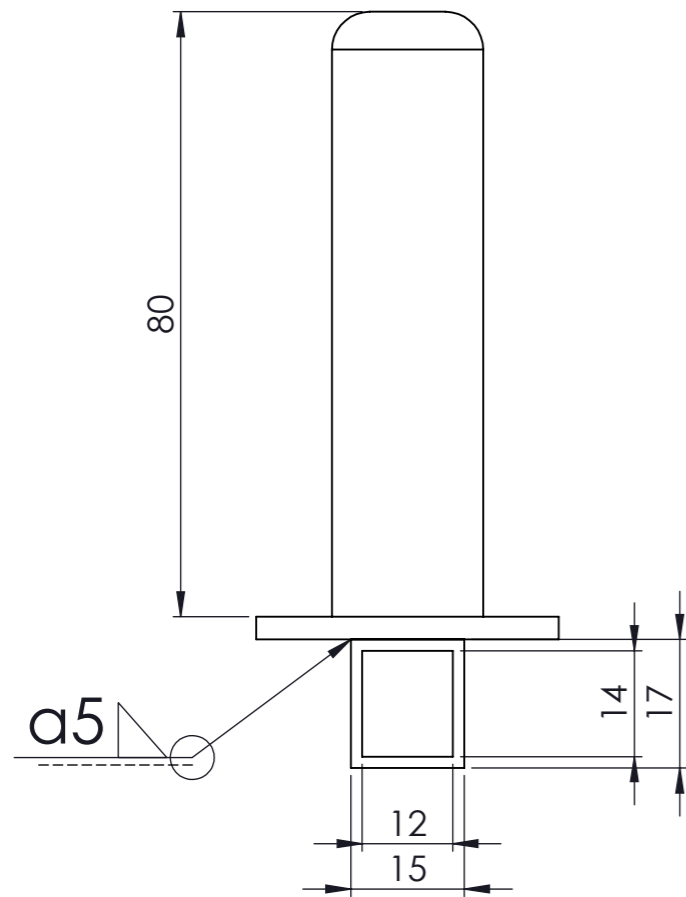
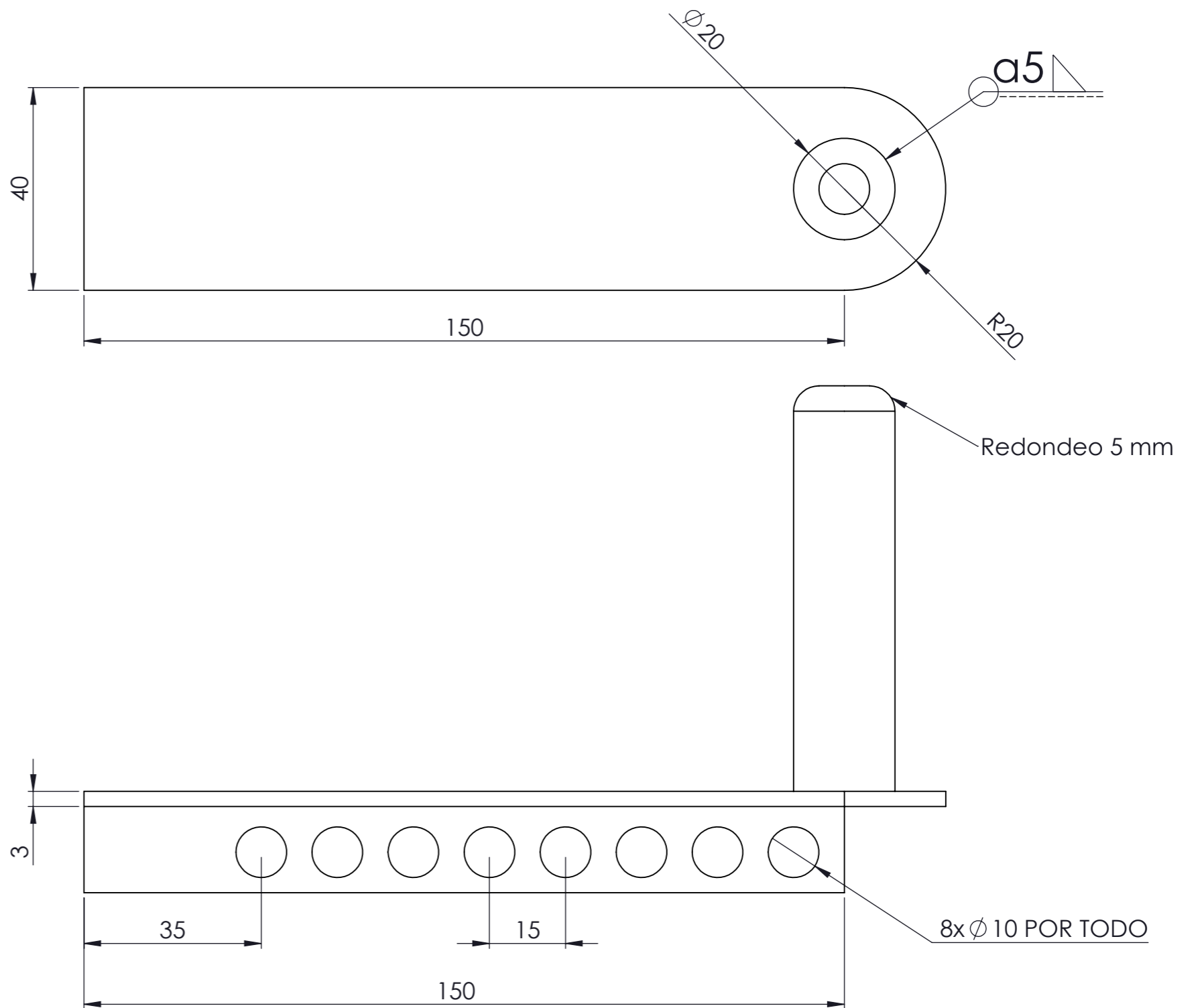
Fecha		Autor			ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL 2015	KEVIN CARABALLO GRILLO			
		JOSE GUTIÉRREZ GONZÁLEZ			
ESCALA:	CONJUNTO BRAZO			Nº P. : 17	
1:2	REFUERZO HOMBRO			Nom.Arch: Plano 17. Refuerzo hombro.slddrw	



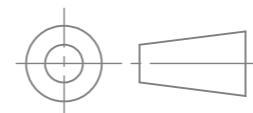
LISTADO DE PIEZAS				
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL
	2	PASADOR	ISO 2340 10X35	
	1	TOPE	1.22	S235
	1	GUÍA EMPUÑADURA	1.21	S235
	1	EMPUÑADURA	1.20	S235
	1	PIEZA DE SUJECIÓN	1.19	S235


DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

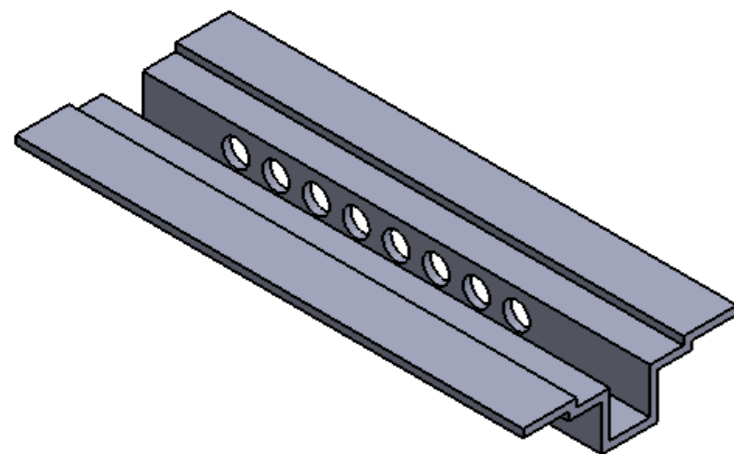
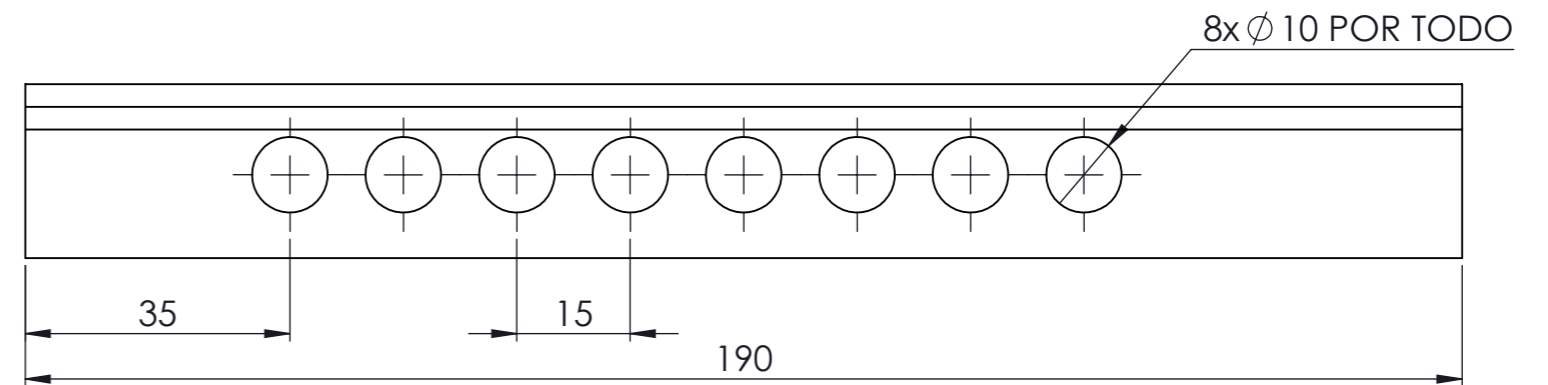
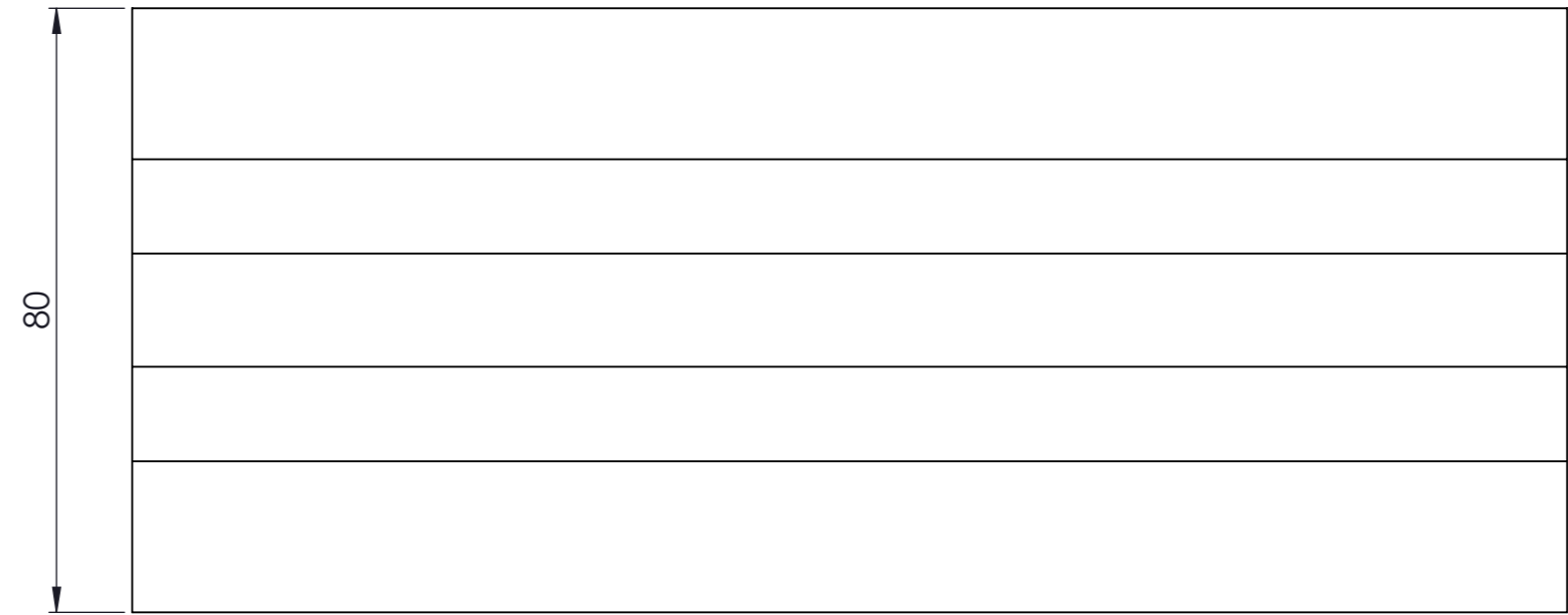
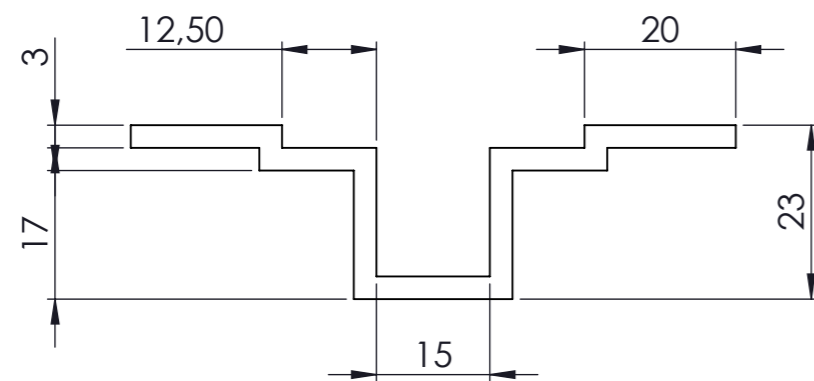
	Fecha	Autores			ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo Jose Gutiérrez González			
Comprobado	JUL-2015				
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA: 1:2	SOPORTE BRAZO			Nº P. :18	Nom.Arch:Plano 18.Conjunto Empuñad.slldrw



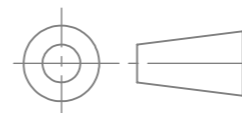
TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm




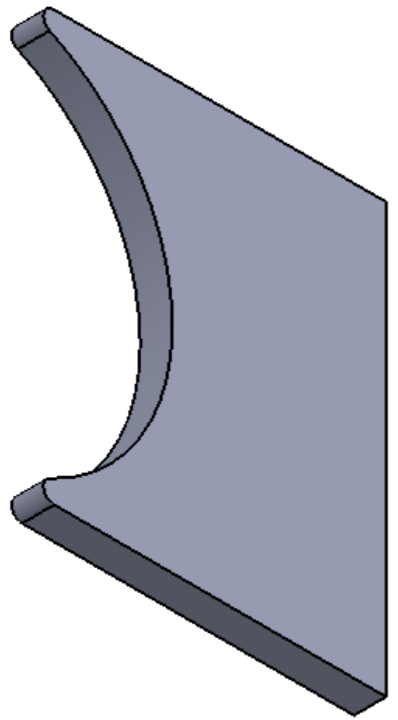
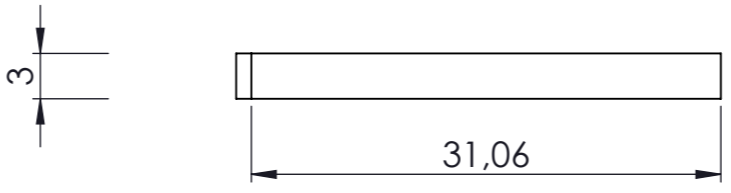
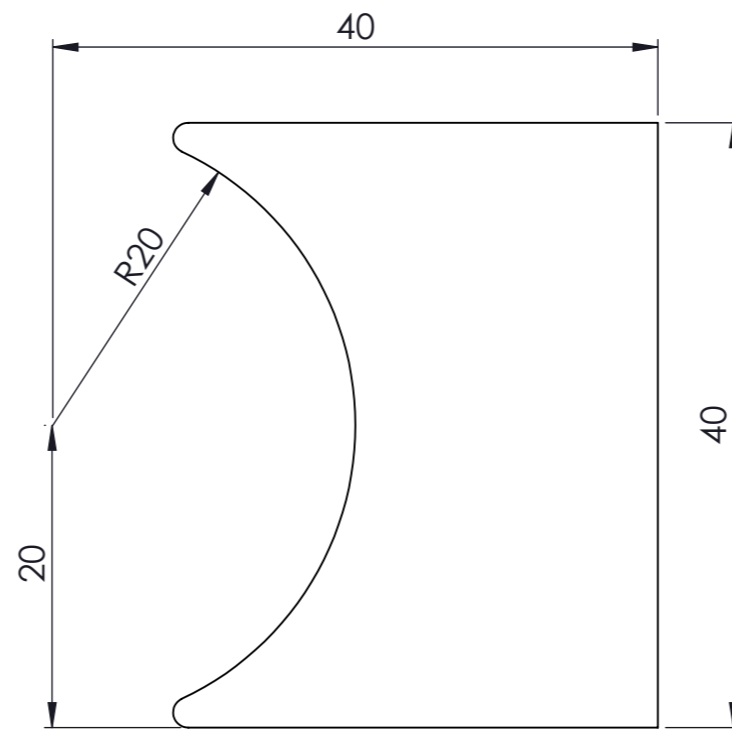
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL
2	1	EMPUÑADURA	1.20	S235
DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS				
Dibujado	Fecha JUL-2015	Autores Kevin Caraballo Grillo Jose Gutiérrez González		 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Comprobado	JUL-2015			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA: 1:1	CONJUNTO SOPORTE BRAZO			Nº P. :19
	EMPUÑADURA			Nom.Arch:Plano 19. Empuñadura.slddrw



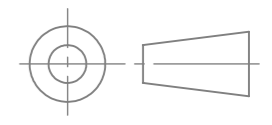
TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm



3	1	GUÍA EMPUÑADURA	1.21	S235
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL
DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS				
	Fecha	Autores		 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo Jose Gutiérrez González		
Comprobado	JUL-2015			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA:	CONJUNTO SOPORTE BRAZO		Nº P. : 20	
1:1	GUÍA EMPUÑADURA		Nom.Arch:Plano 20. Guía empuñadura.slddrw	



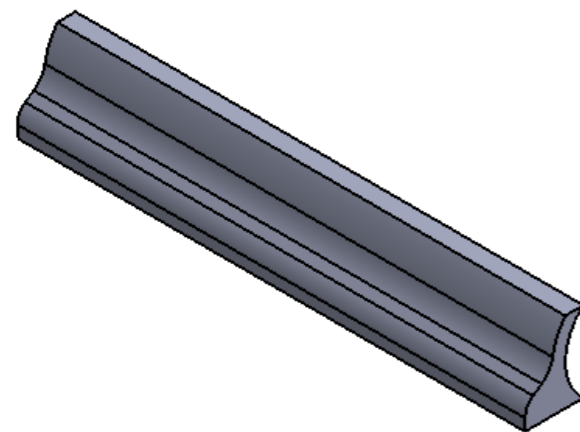
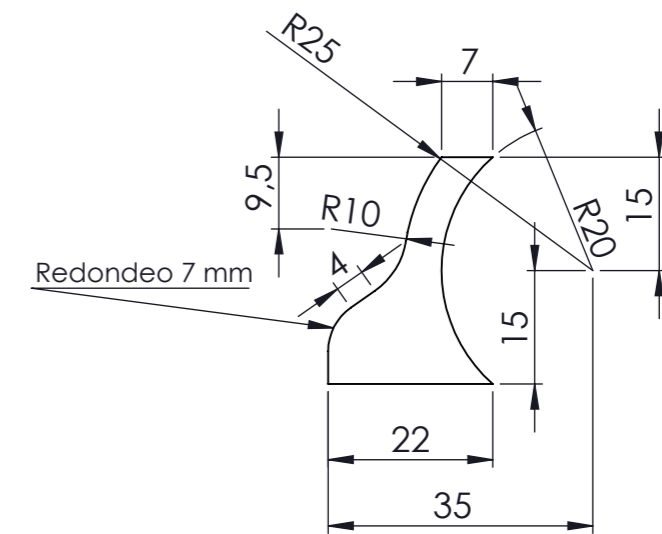
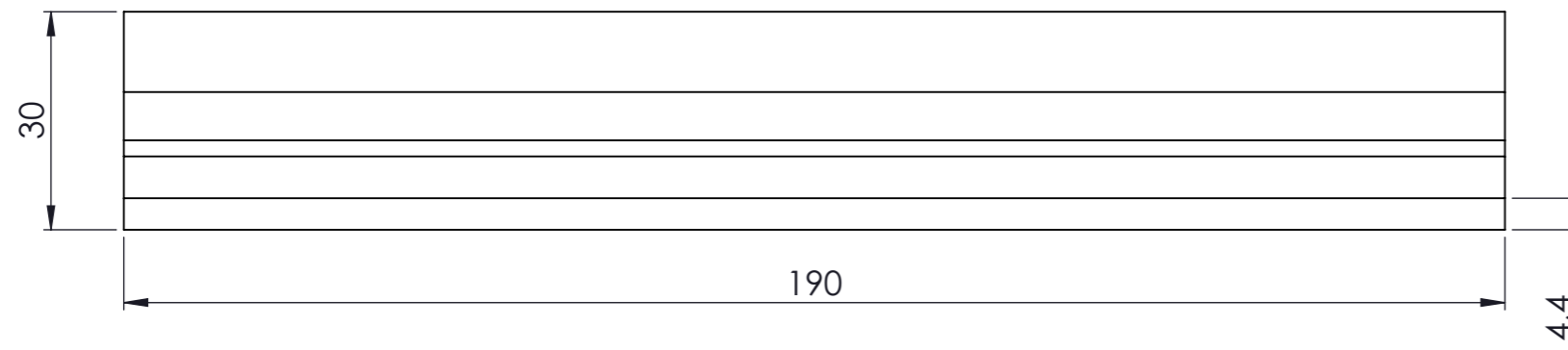
TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm



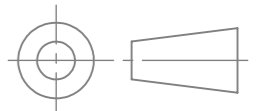
4	1	TOPE	1.22	S235
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

	Fecha	Autores			ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo Jose Gutiérrez González			
Comprobado	JUL-2015				
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA: 2:1	CONJUNTO SOPORTE BRAZO			Nº P. : 21	
	TOPE			Nom.Arch:Plano 21. Tope.slddrw	




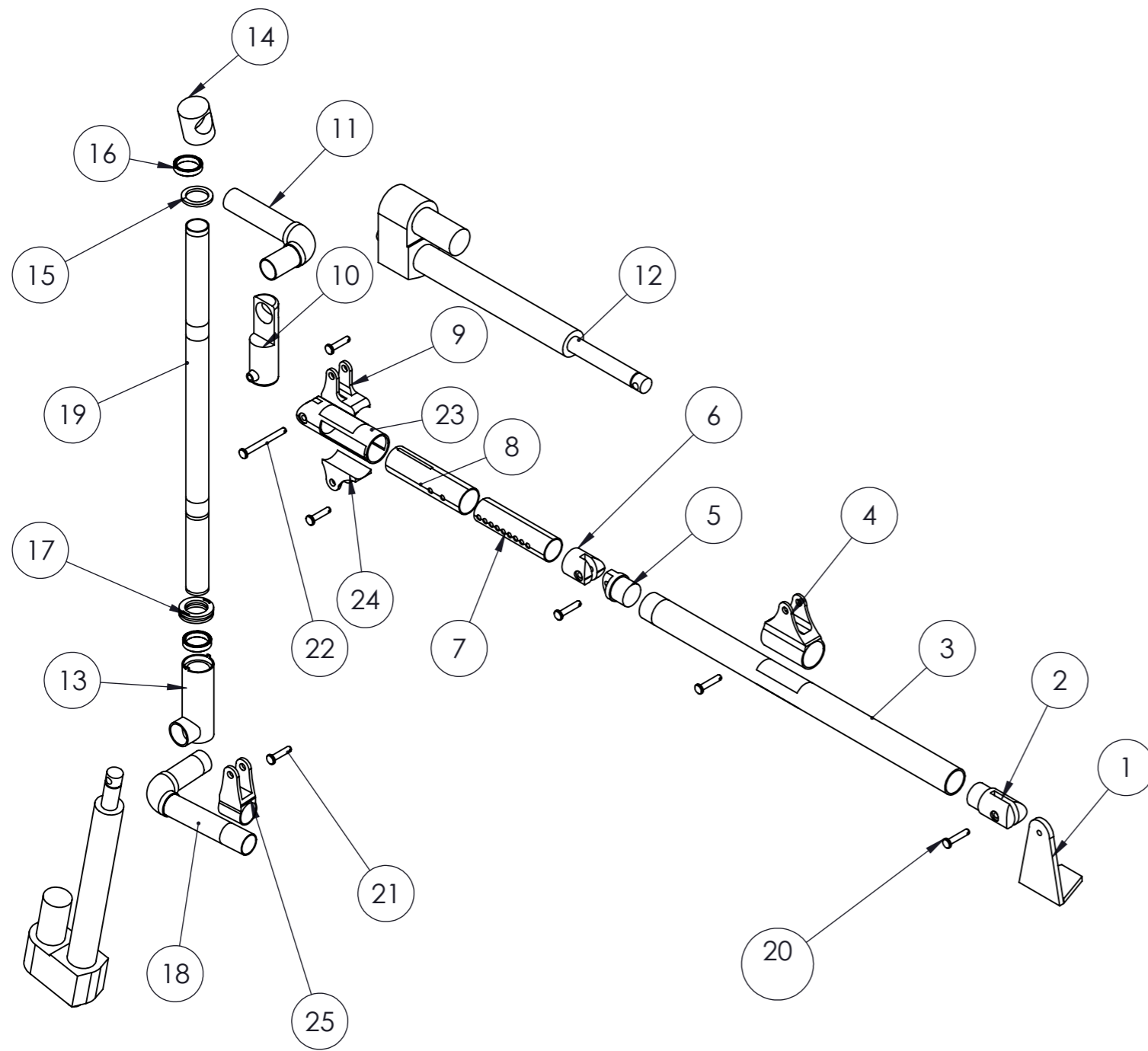
TOLERANCIAS = $\pm 0,1$ mm



1	1	PIEZA DE SUJECIÓN	1.19	S235
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL


DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

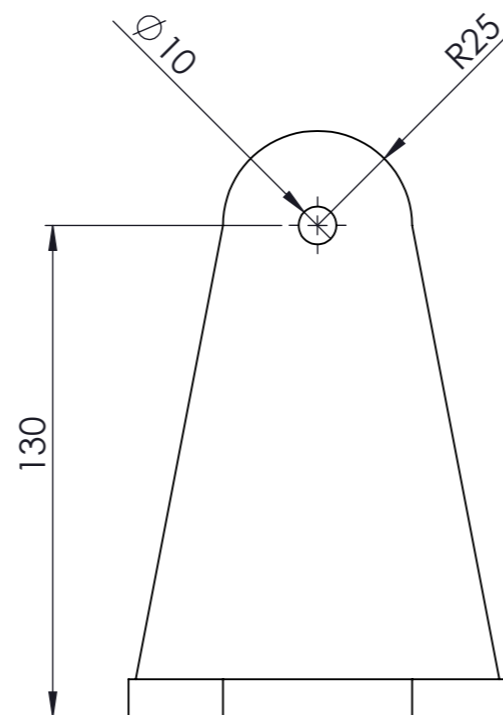
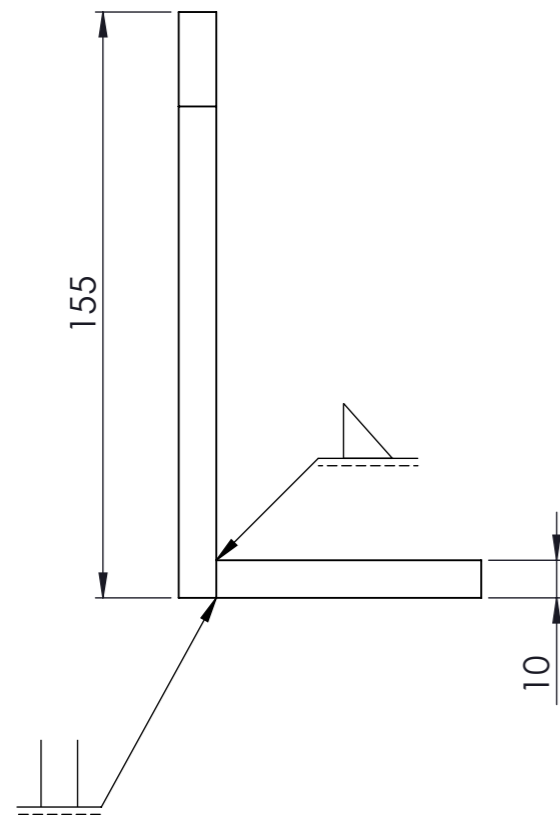
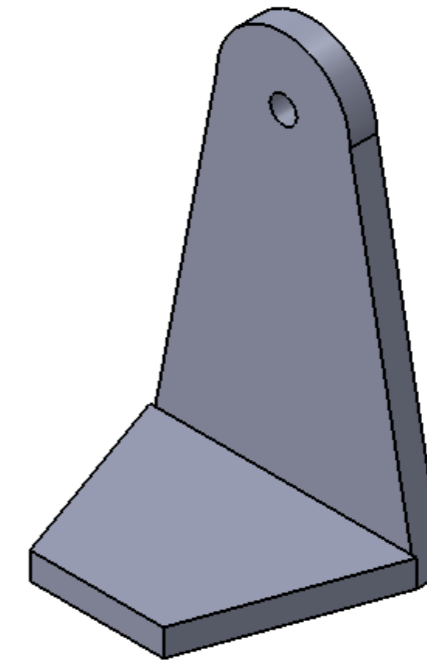
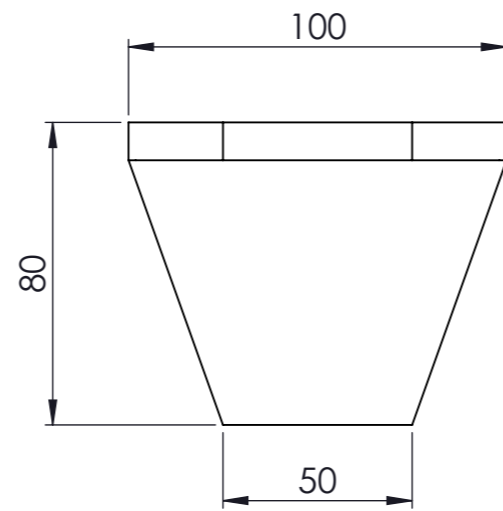
	Fecha	Autores		 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo Jose Gutiérrez González			
Comprobado	JUL-2015				
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA:	CONJUNTO SOPORTE BRAZO			Nº P. : 22	
1:1	PIEZA SUJECIÓN			Nom.Arch:Plano 22. Pieza de sujeción.slddrw	



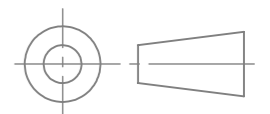
LISTADO DE PIEZAS				
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL
	1	LENGÜETA 4	1.19	AL 6063
	1	LENGÜETA 3	1.18	AL 6063
	1	RÓTULA DOBLE-ANILLA	1.17	AL 6063
	2	PASADOR	ISO 2341-B-10X100X3.2	
	3	PASADOR	ISO 2341-B-10X45X3.2	
	3	PASADOR	ISO 2341-B-10X50X3.2	
	1	TUBO ESPALDA	1.16	FIBRA CARB.
	1	L ACTUADOR	1.15	
	1	TAPA INFERIOR RODAM	1.14	AL 6063
	2	RODAMIENTO DE BOLAS	ISO 15 -3840	
	1	TAPA RODAMIENTO	1.13	AL 6063
	1	TAPA SUPERIOR GIRO	1.12	AL 6063
	1	TAPAINFERIOR GIRO	1.11	AL 6063
	1	ACTUADOR	SKF CAHB-21	
	1	L HOMBRO	1.10	
	1	SOPORTE HOMBRO	1.09	AL 6063
	1	LENGÜETA 2	1.08	AL 6063
	1	TUBO EXTERIOR BRAZO	1.08	FIBRA CARB.
	1	TUBO INTERIOR BRAZO	1.07	FIBRA CARB.
	1	RÓTULA DOBLE CODO	1.06	AL 6063
	1	RÓTULA SIMPLE CODO	1.05	AL 6063
	1	LENGÜETA 1	1.04	AL 6063
	1	ANTEBRAZO	1.03	FIBRA CARB.
	1	ROTULA PIEZA AGARRE	1.02	AL 6063
	1	PIEZA DE AGARRE	1.01	AL 6063
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

	Fecha	Autores			ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo	Jose Gutiérrez González		
Comprobado	JUL-2015				
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA: 1:10	PLANO DE CONJUNTO BRAZO DISEÑO EN FIBRA DE CARBONO Y ALUMINIO				Nº P. : 23 Nom.Arch: Plano 23. Conjunto en Fibra.slddrw



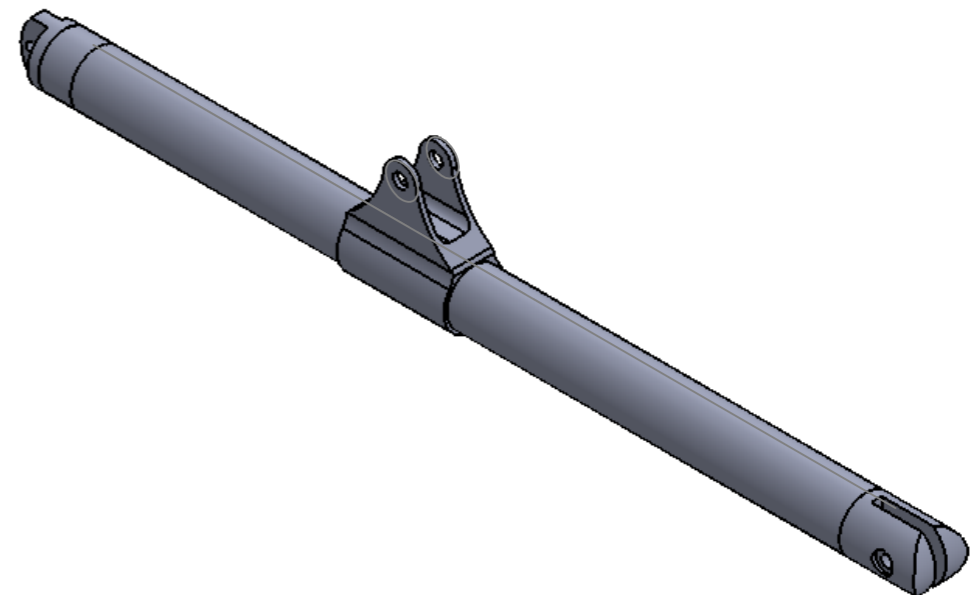
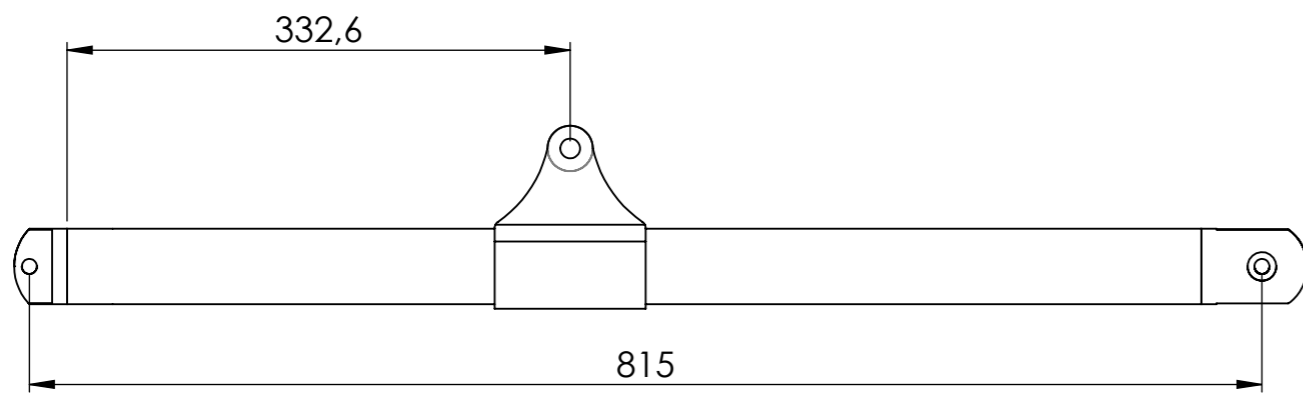
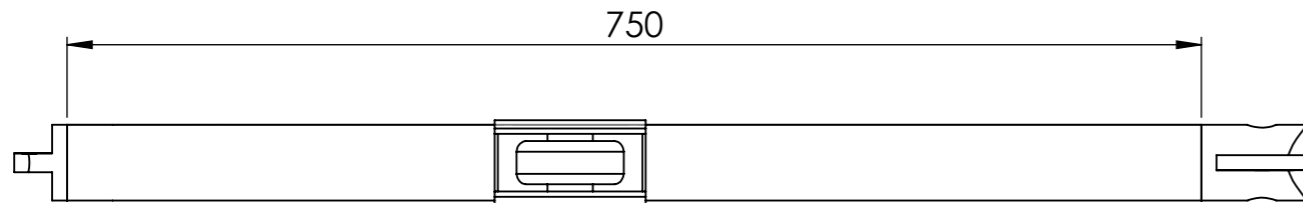
TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm



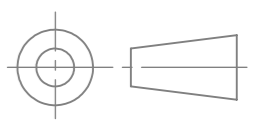
1	1	PIEZA DE AGARRE	1.01	AL 6063
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

	Fecha	Autores		 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo	Jose Gutiérrez González	
Comprobado	JUL-2015			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA:	PLANO DE CONJUNTO BRAZO FIBRA			Nº P. : 24
1:10	PIEZA DE AGARRE			Nom.Arch: Plano 24.Pieza de agarre.slddrw



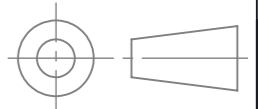
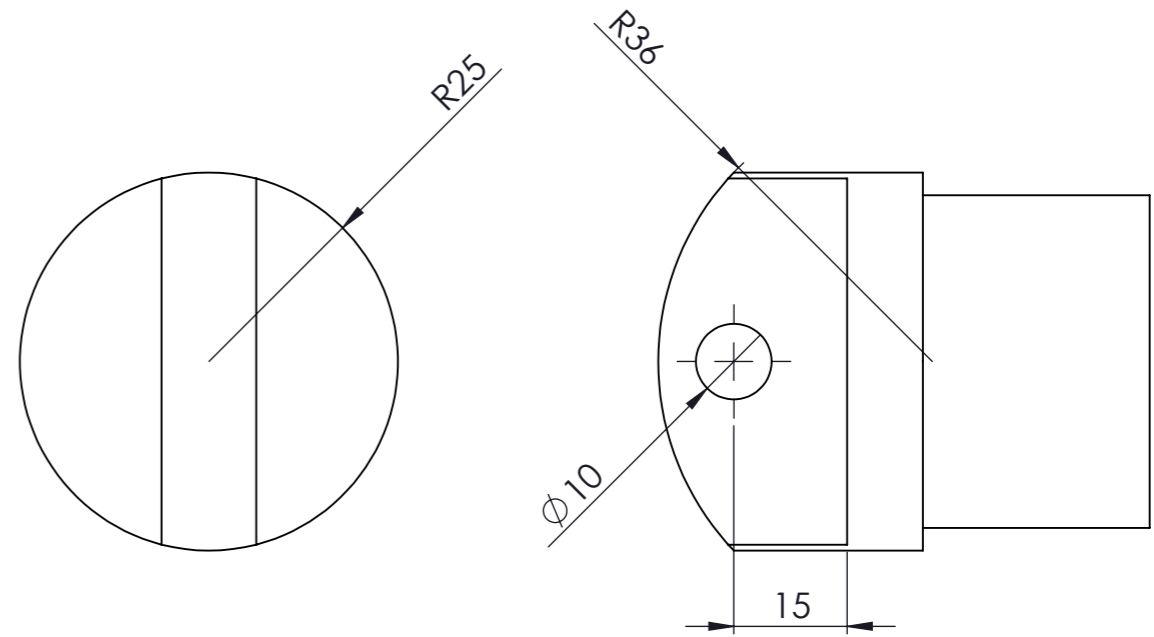
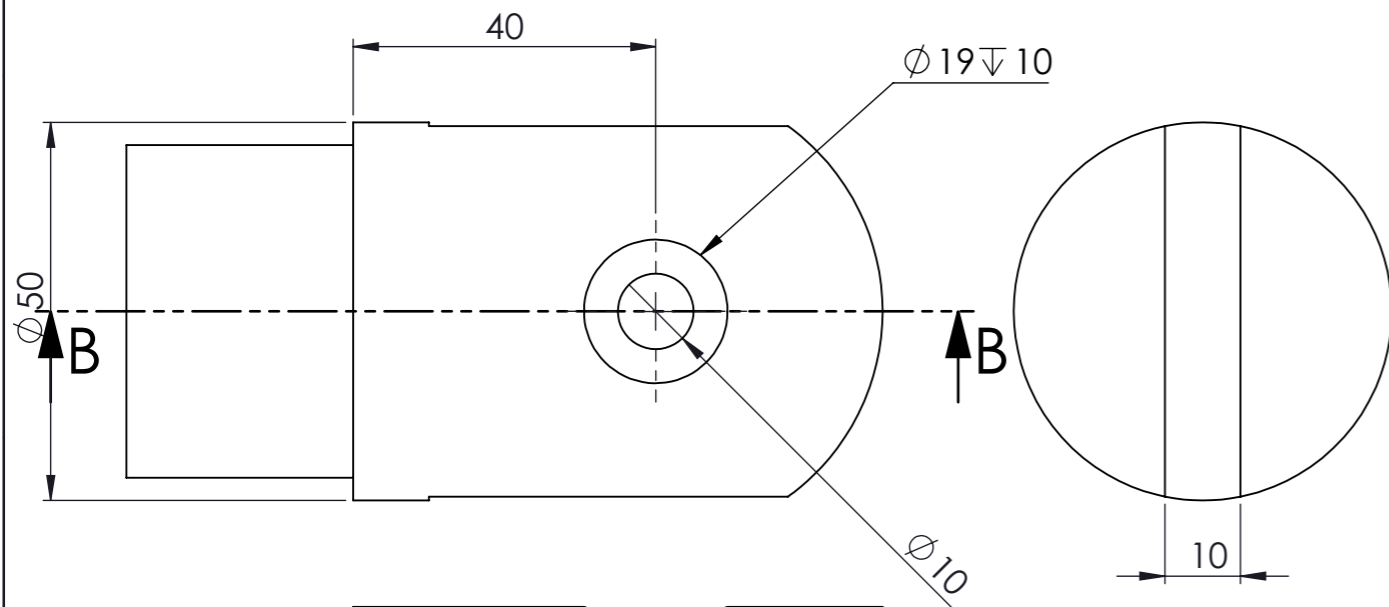
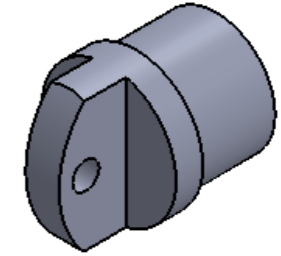
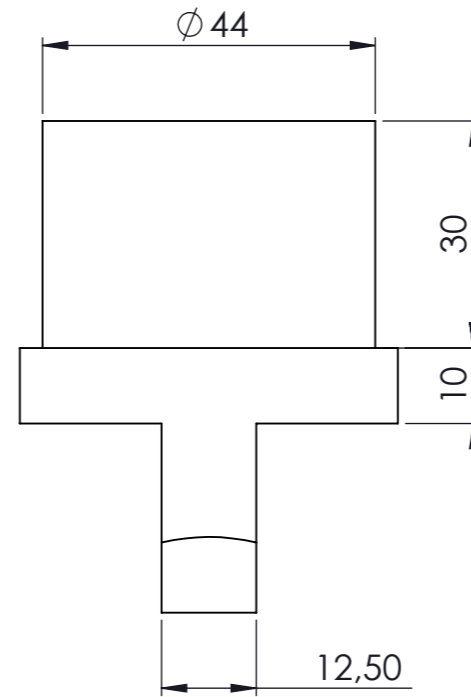
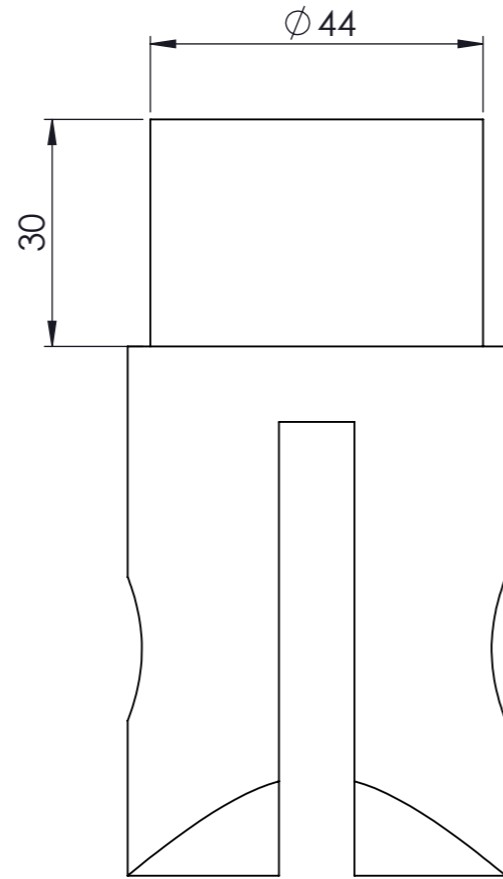
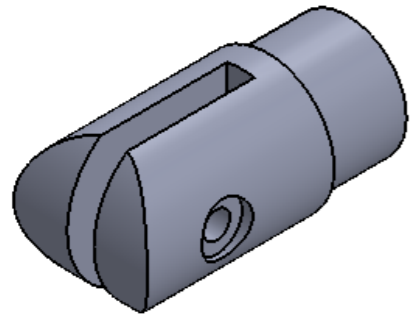
TUBO FIBRA DE CARBONO 50X3 mm
TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm



5	1	RÓTULA SIMPLE CODO	1.05	AL 6063
4	1	LENGÜETA 1	1.04	AL 6063
3	1	ANTEBRAZO	1.03	FIBRA CARB.
2	1	ROTULA PIEZA AGARRE	1.02	AL 6063
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

	Fecha	Autores		 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo Jose Gutiérrez González			
Comprobado	JUL-2015				
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA: 1:5	PLANO DE CONJUNTO BRAZO FIBRA			Nº P. : 25	
	SUBCONJUNTO ANTEBRAZO			Nom.Arch: Plano 25.Antebrazo.slddrw	



TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm

MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL
5	1	RÓTULA SIMPLE CODO	1.05	AL 6063
2	1	ROTULA PIEZA AGARRE	1.02	AL 6063

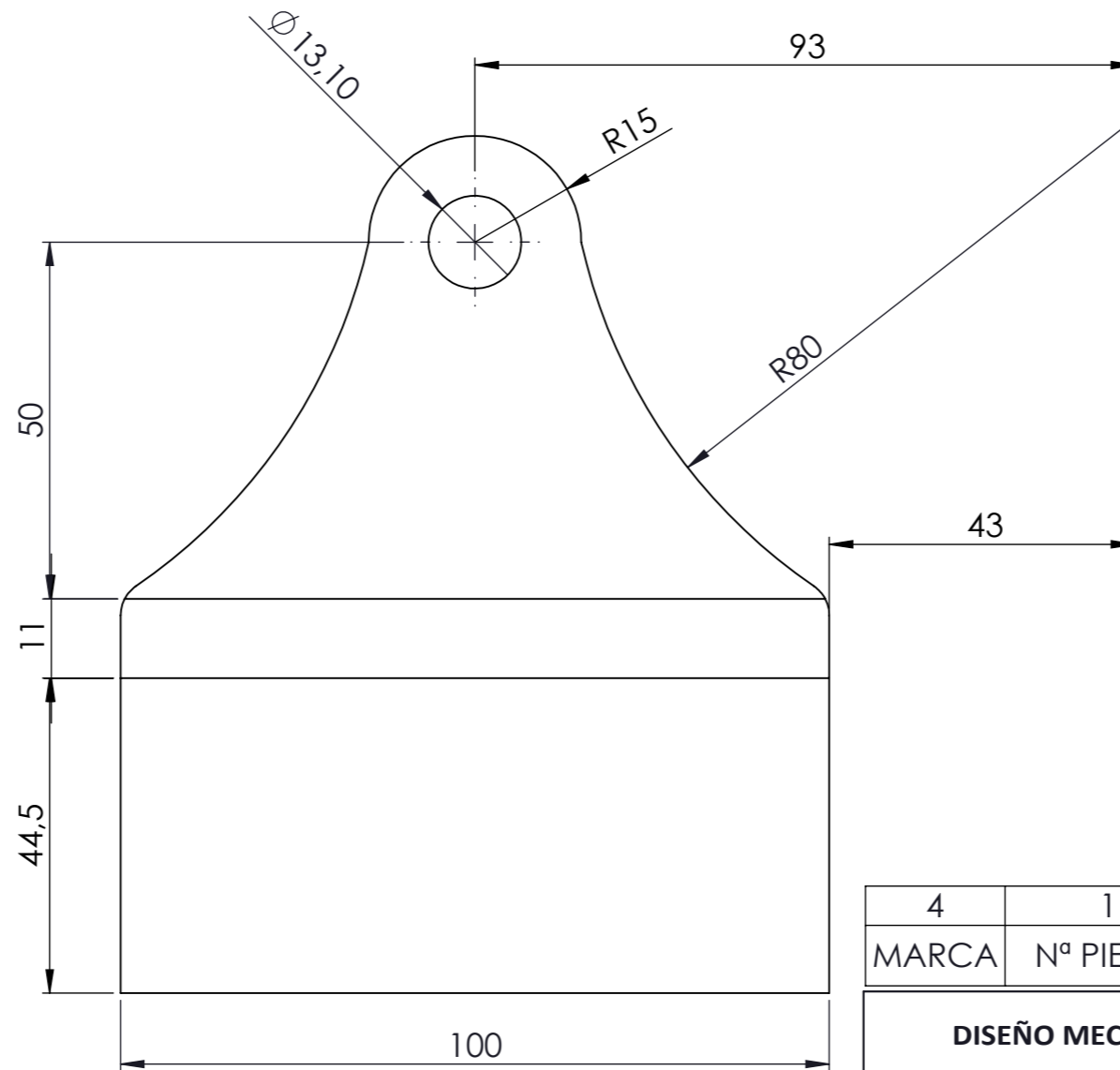
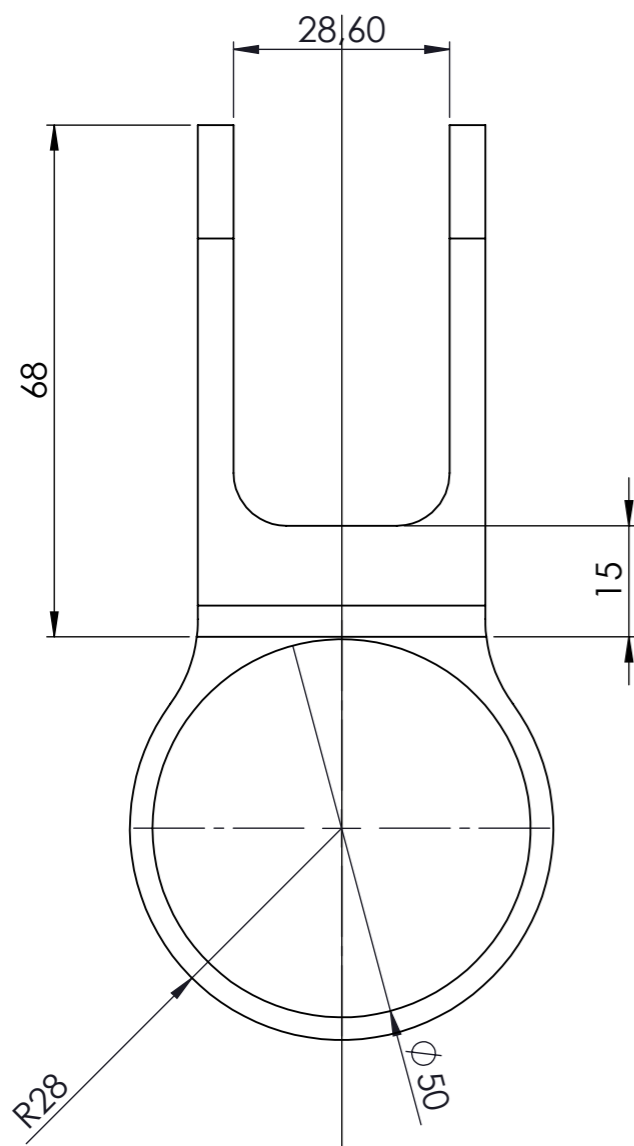
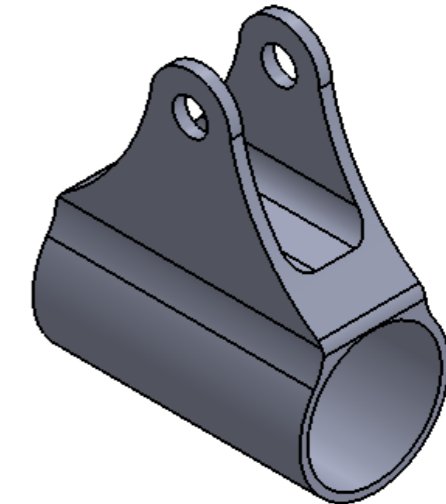
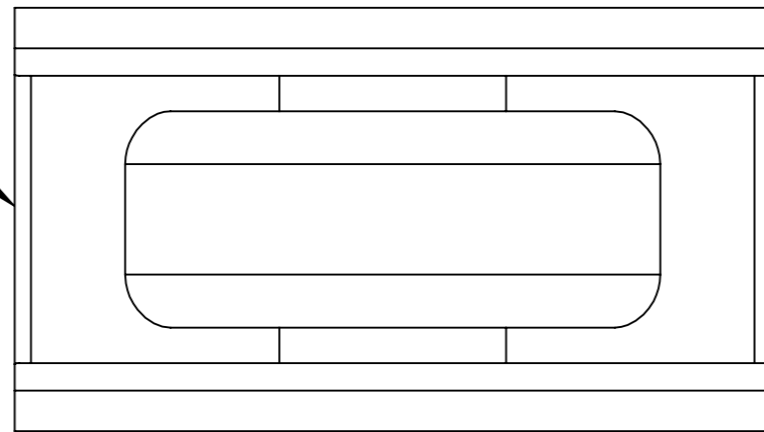
DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

Fecha		Autores			ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo	Jose Gutiérrez González		
Comprobado	JUL-2015				
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA:	CONJUNTO BRAZO FIBRA			Nº P. : 26	
1:1	RÓTULA AGARRE Y RÓTULA SIMPLE			Nom.Arch: Plano 26.Rótula agarre y.slddrw	

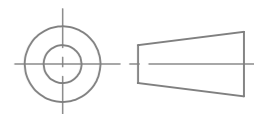
SECCIÓN B-B

Redondeo 5 mm

Redondeo 5 mm



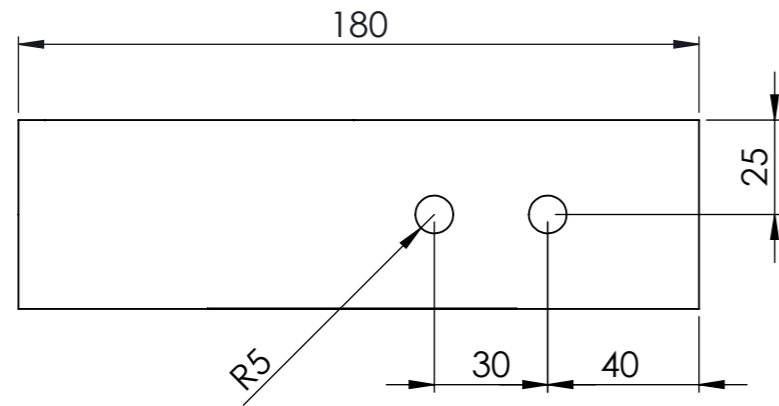
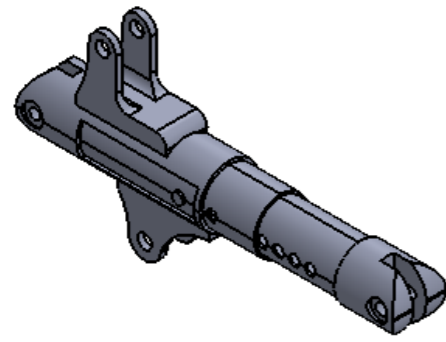
TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm



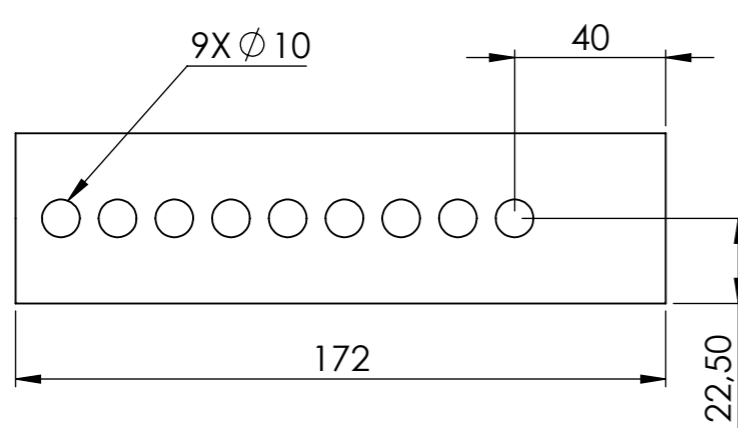
4	1	LENGÜETA 1	1.04	AL 6063
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

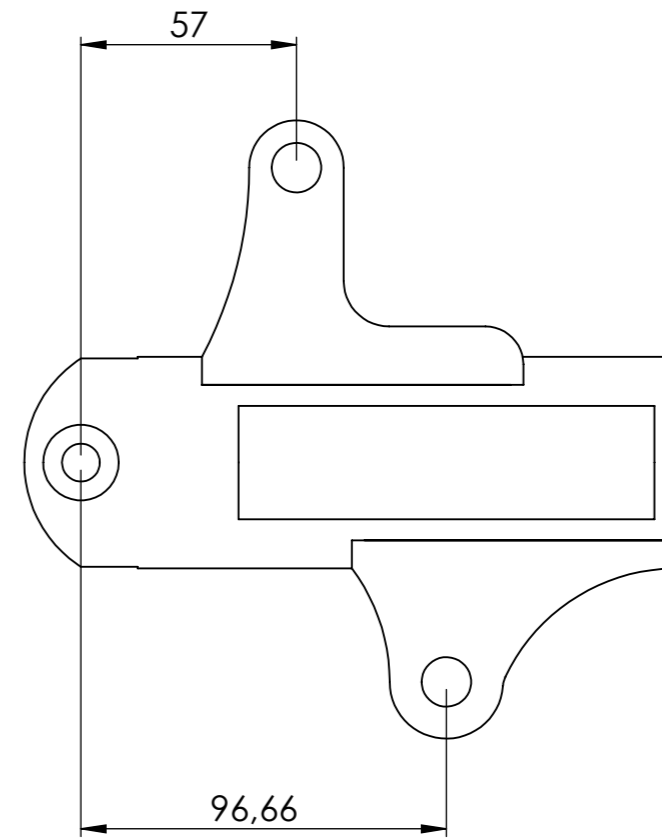
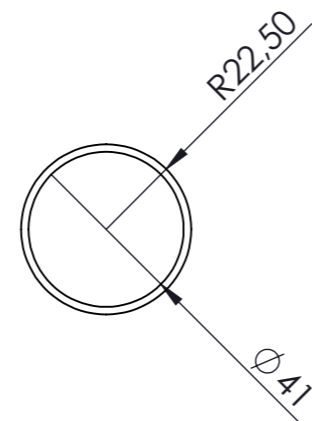
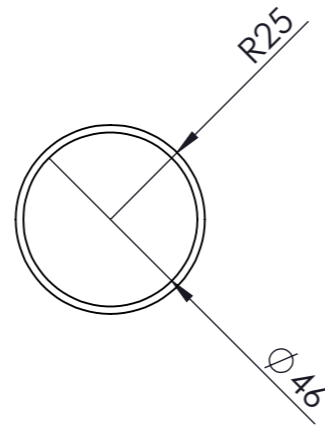
	Fecha	Autores		 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo Jose Gutiérrez González			
Comprobado	JUL-2015				
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA:	PLANO DE CONJUNTO BRAZO FIBRA			Nº P. : 27	
1:1	LENGÜETA 1			Nom.Arch: Plano 27.Lengüeta 1.sldrw	



TUBO EXTERIOR



TUBO INTERIOR



SUBCONJUNTO RÓTULA - ANILLA-LENGÜETAS

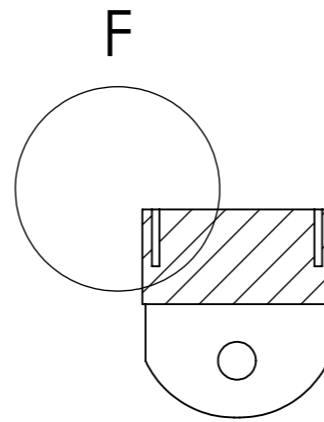
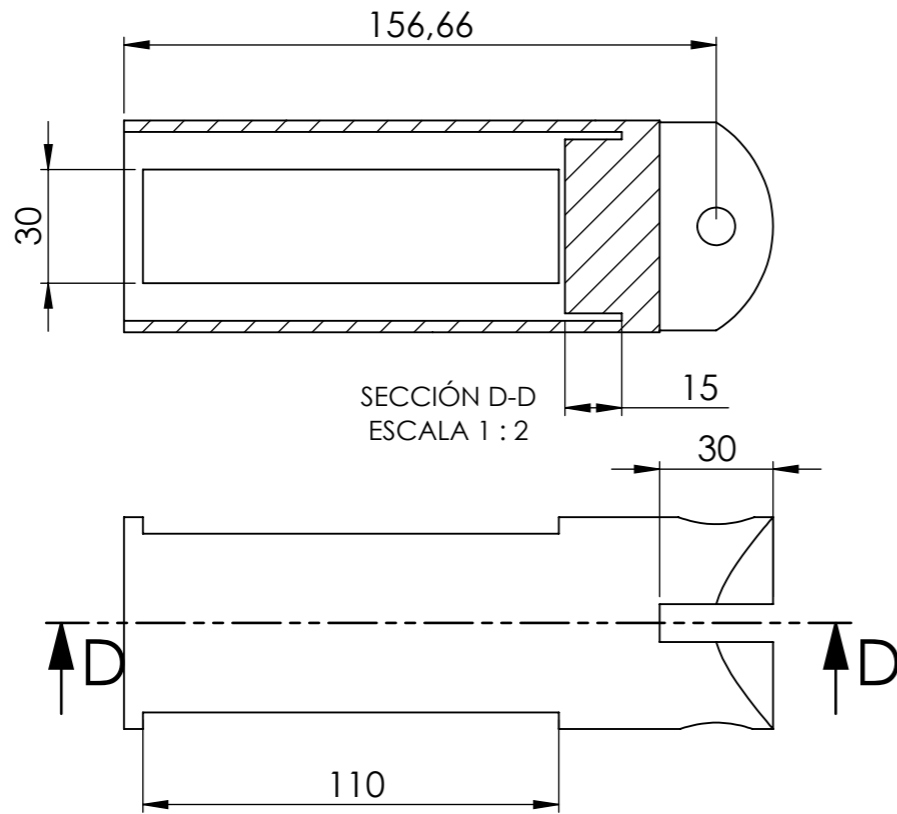
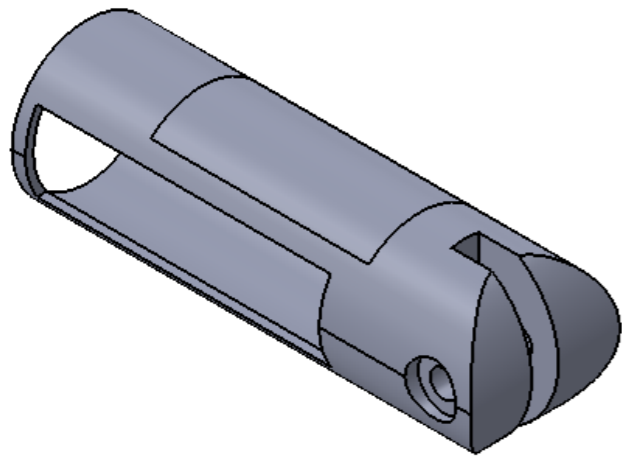
TOLERANCIAS = $\pm 0,1$ mm



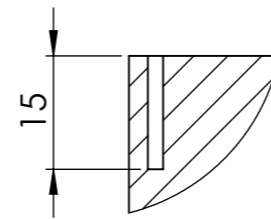
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL	
	24	1	LENGÜETA 3	1.18	AL 6063
	23	1	RÓTULA DOBLE-ANILLA	1.17	AL 6063
	9	1	LENGÜETA 2	1.08	AL 6063
	8	1	TUBO EXTERIOR BRAZO	1.08	FIBRA CARB.
	7	1	TUBO INTERIOR BRAZO	1.07	FIBRA CARB.
	6	1	RÓTULA DOBLE CODO	1.06	AL 6063

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

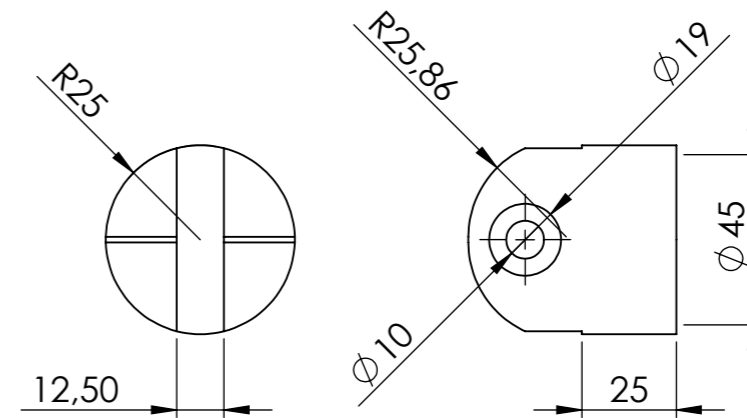
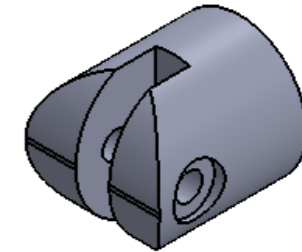
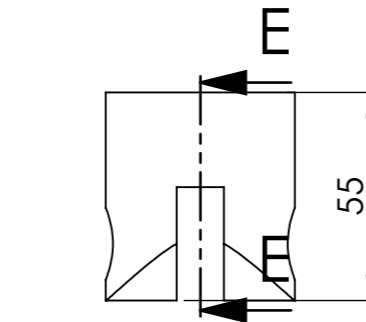
Fecha	Autores			ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo Jose Gutiérrez González		
Comprobado	JUL-2015			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA:	PLANO DE CONJUNTO BRAZO FIBRA			Nº P. : 28
1:2	SUBCONJUNTO BRAZO			Nom.Arch: Plano 28.Brazo.sliddrw



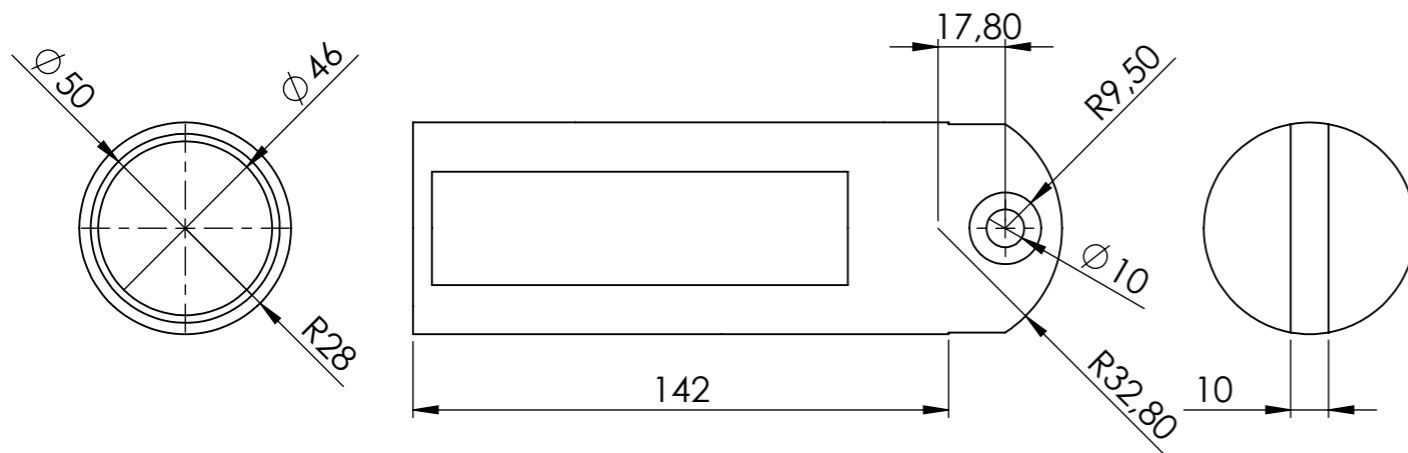
SECCIÓN E-E
ESCALA 1 : 2



DETALLE F

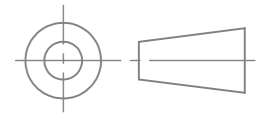


RÓTULA DOBLE



RÓTULA-ANILLA

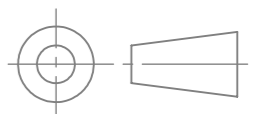
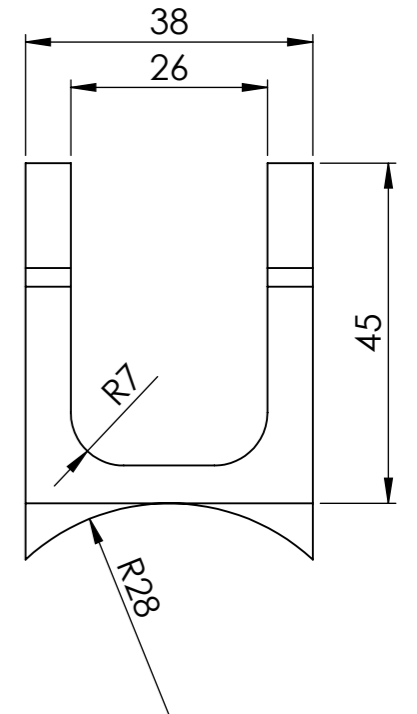
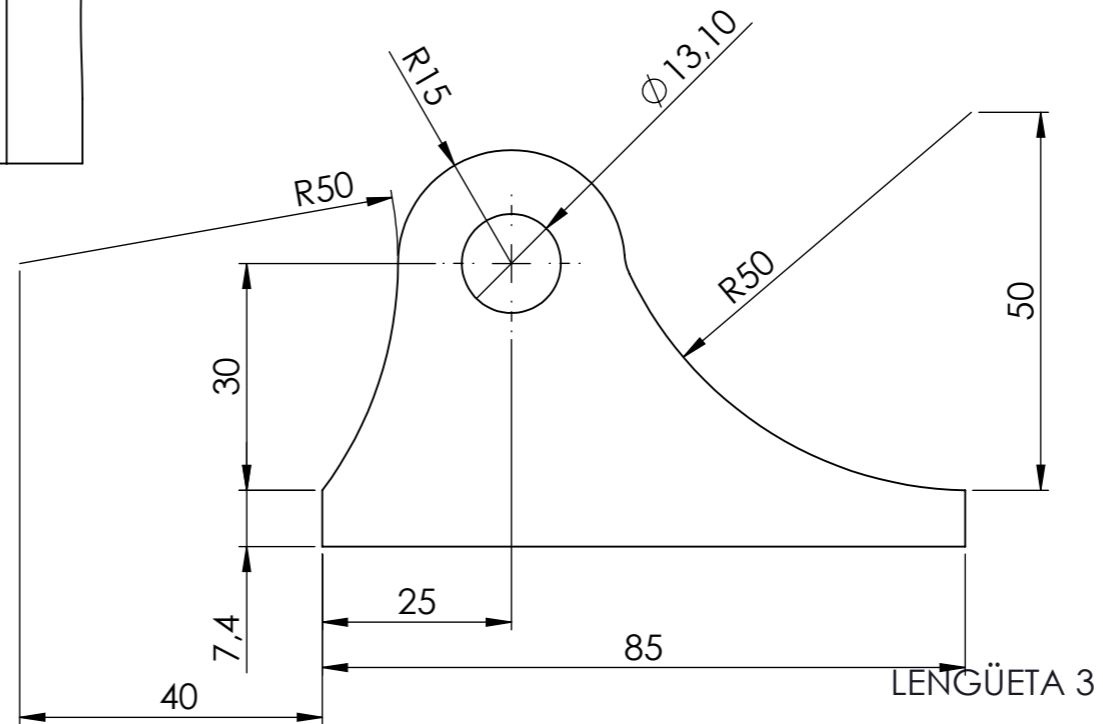
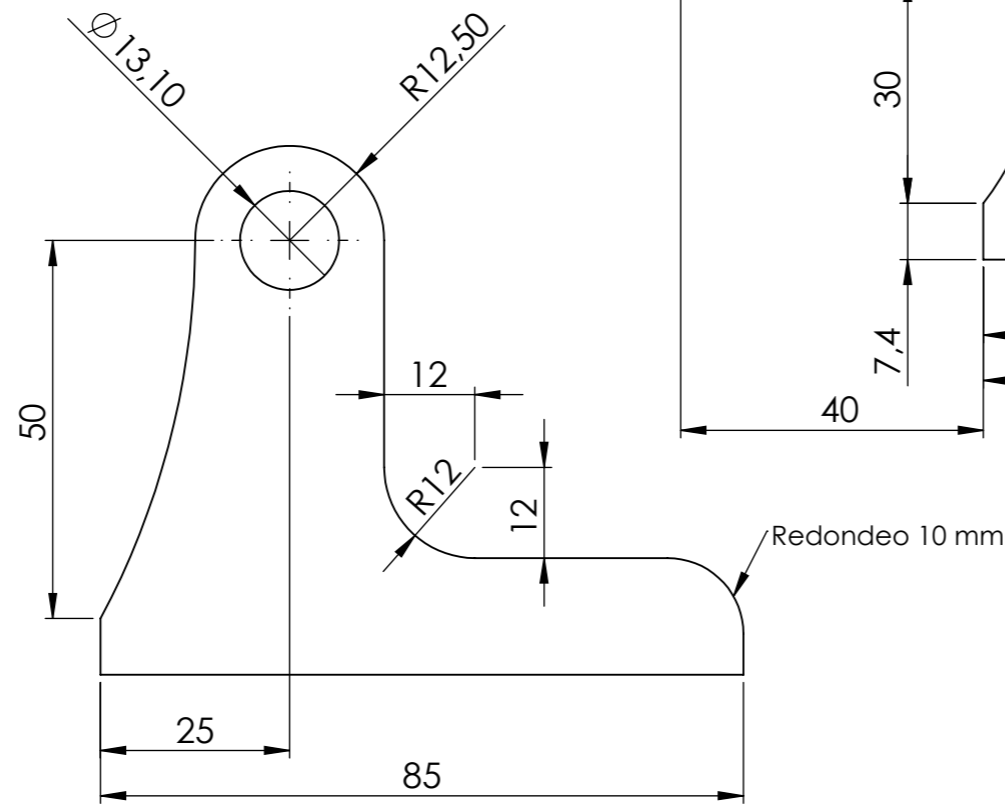
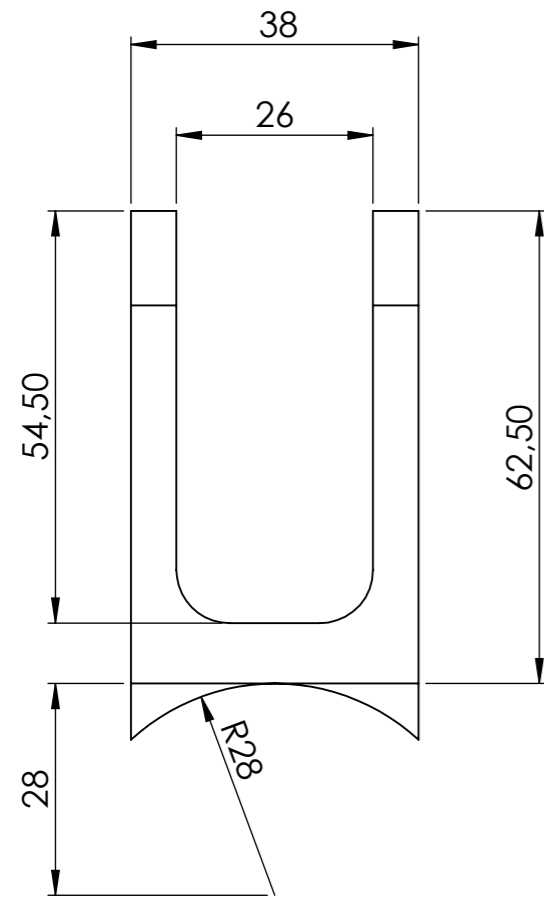
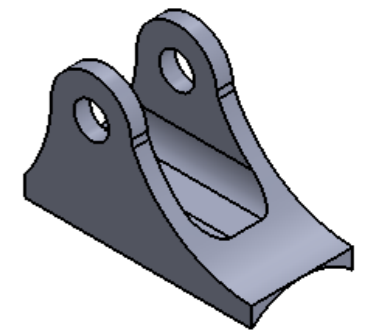
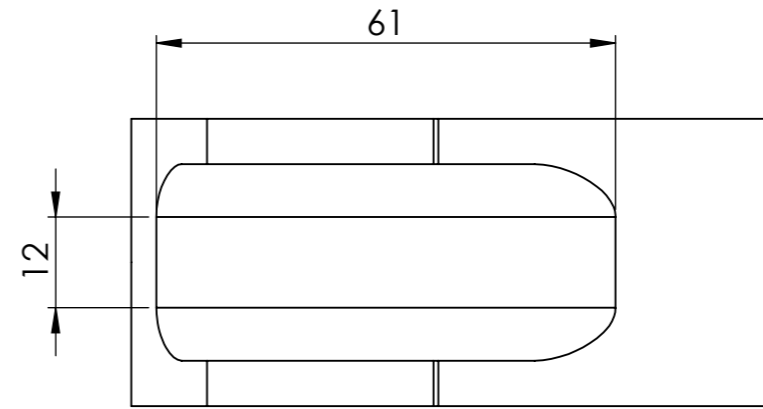
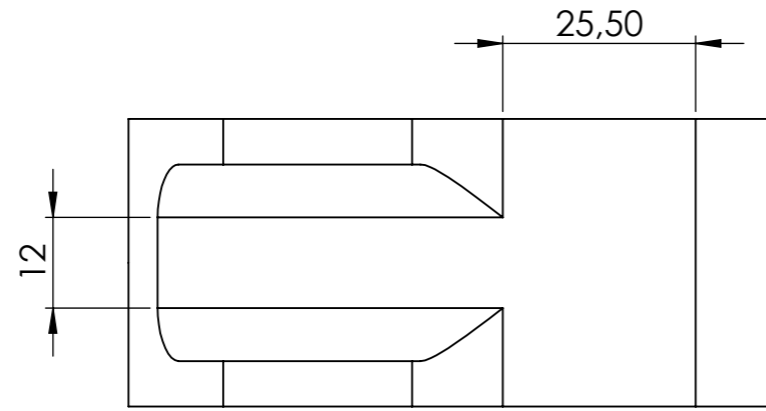
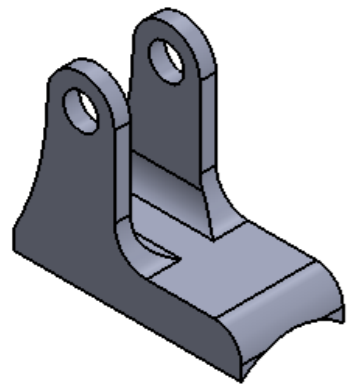
TOLERANCIAS = $\pm 0,1$ mm



MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL
23	1	RÓTULA DOBLE-ANILLA	1.17	AL 6063
6	1	RÓTULA DOBLE CODO	1.06	AL 6063

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

Fecha		Autores		 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo	Jose Gutiérrez González	
Comprobado	JUL-2015			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA:	PLANO DE CONJUNTO BRAZO FIBRA			Nº P. : 29
1:2	RÓTULAS BRAZO			Nom.Arch: Plano 29.Rótulas brazo.slddrw



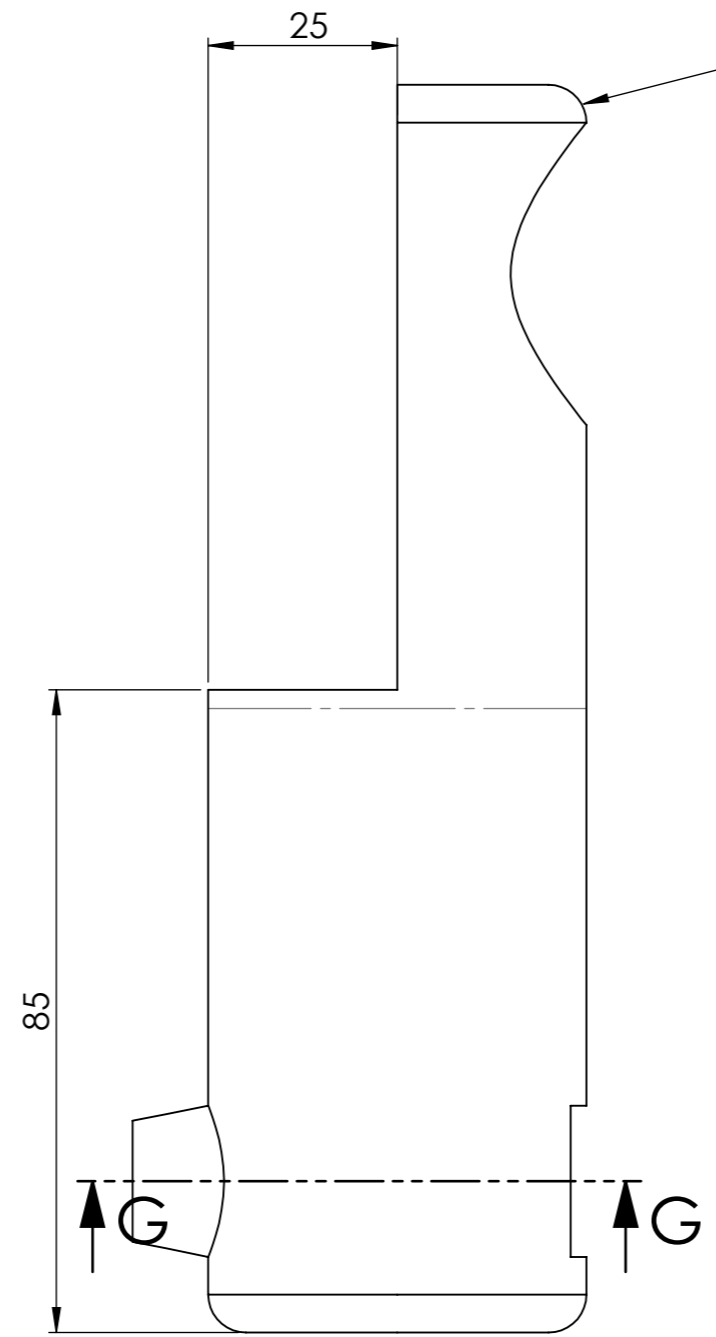
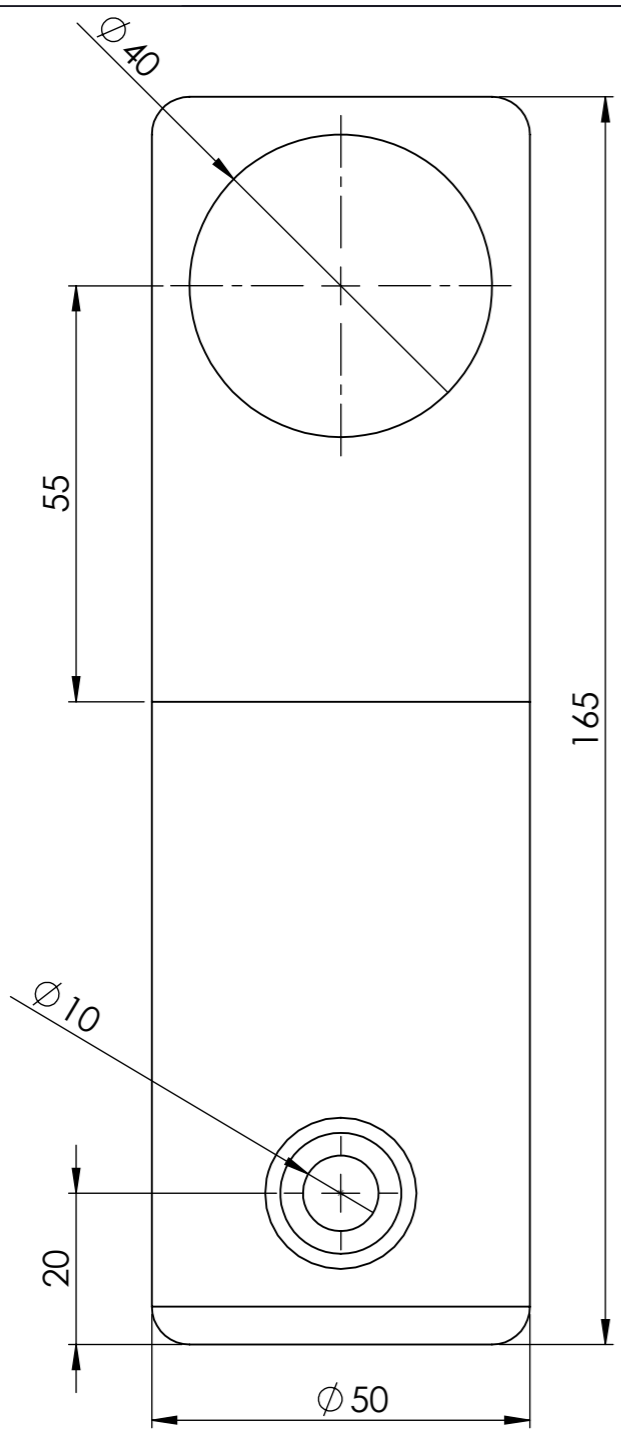
LENGÜETA 2

TOLERANCIAS = ± 0,1 mm

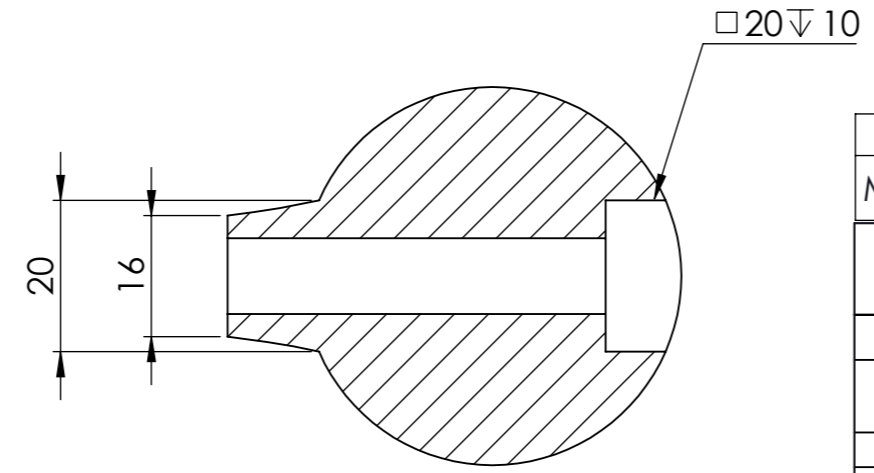
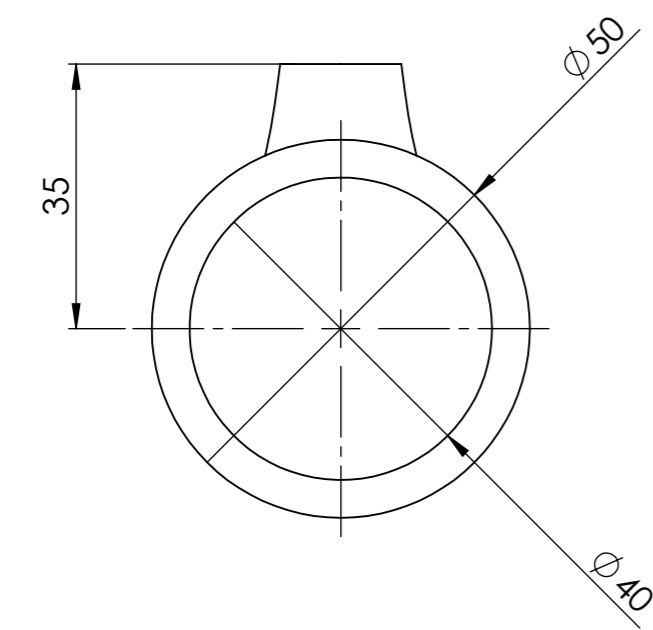
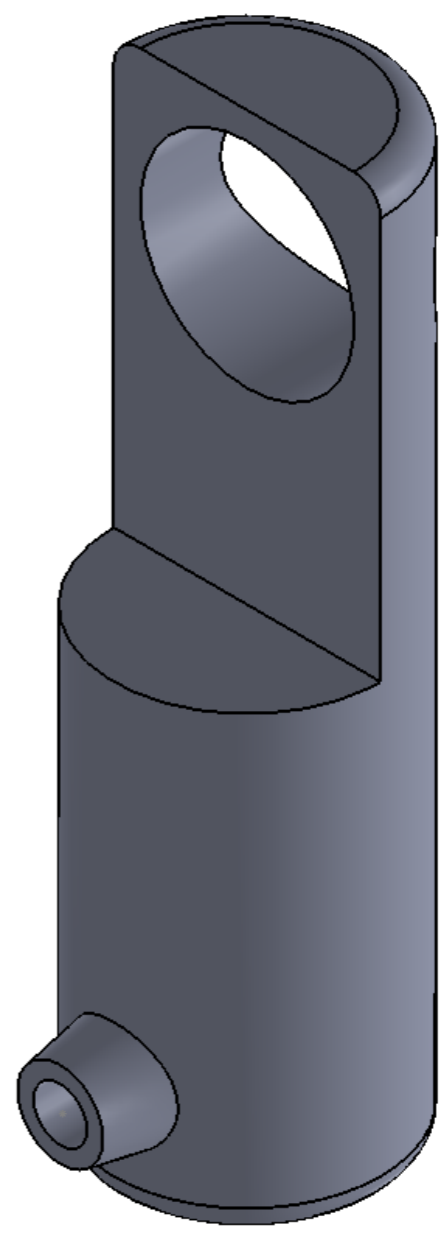
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL
24	1	LENGÜETA 3	1.18	AL 6063
9	1	LENGÜETA 2	1.08	AL 6063

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

Fecha		Autores			ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo	Jose Gutiérrez González		
Comprobado	JUL-2015				
Id. s. normas		UNE-EN-DIN			
ESCALA:	PLANO DE CONJUNTO BRAZO FIBRA			Nº P. : 30	
1:1	LENGÜETAS 2 Y 3			Nom.Arch: Plano 30.Lengüetas.sldrw	

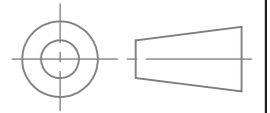


Redondeo 5 mm



SECCIÓN G-G

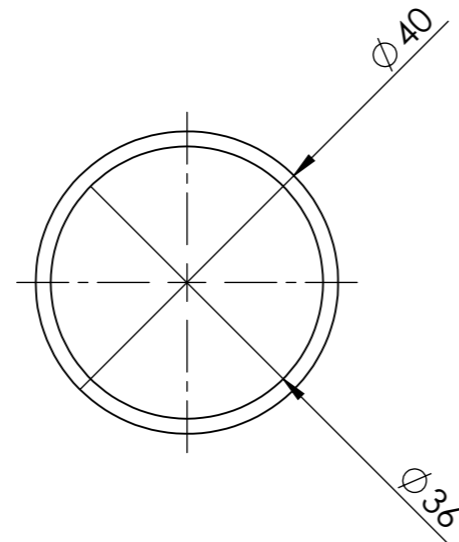
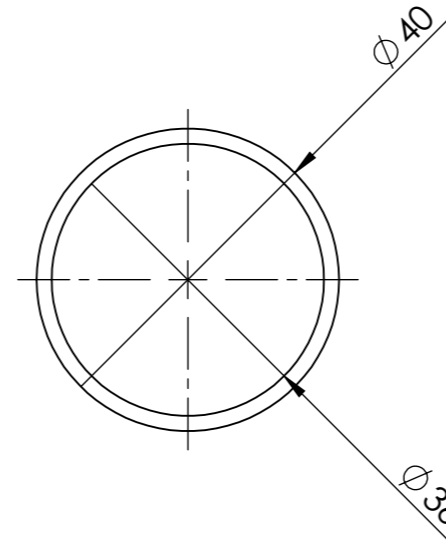
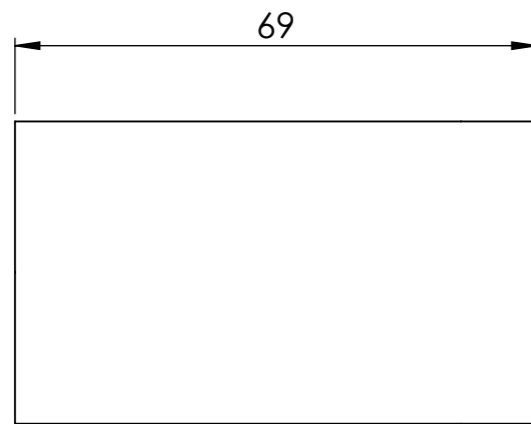
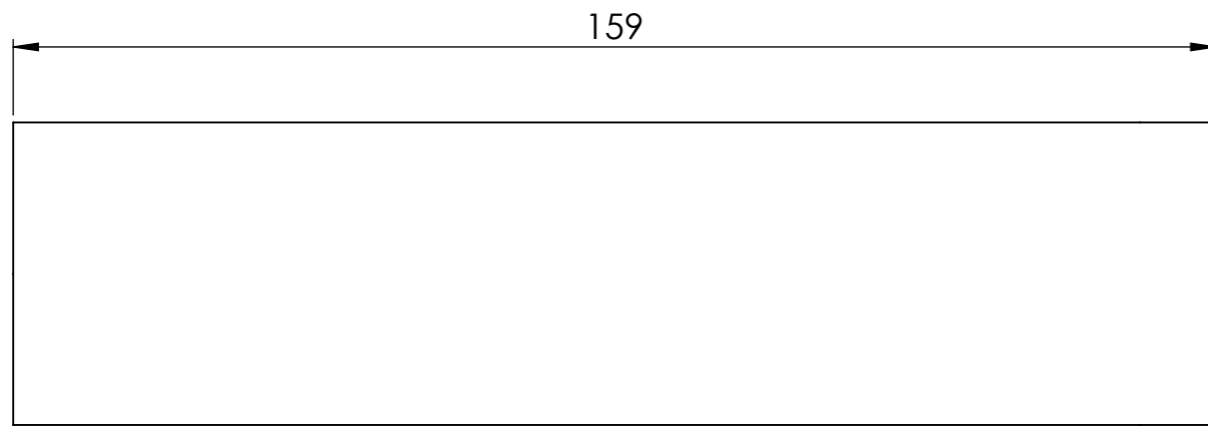
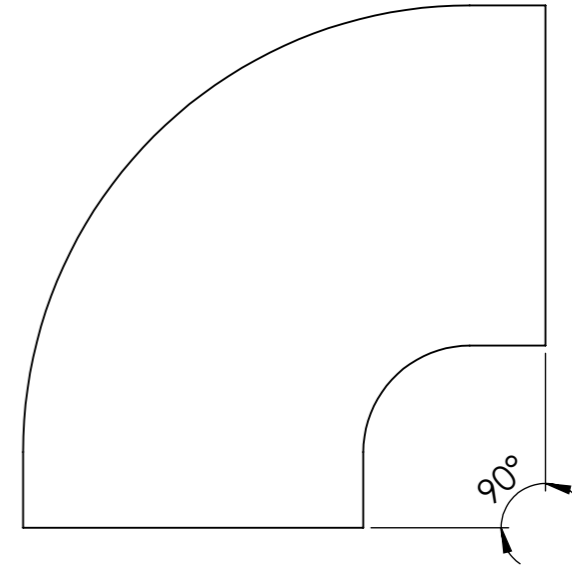
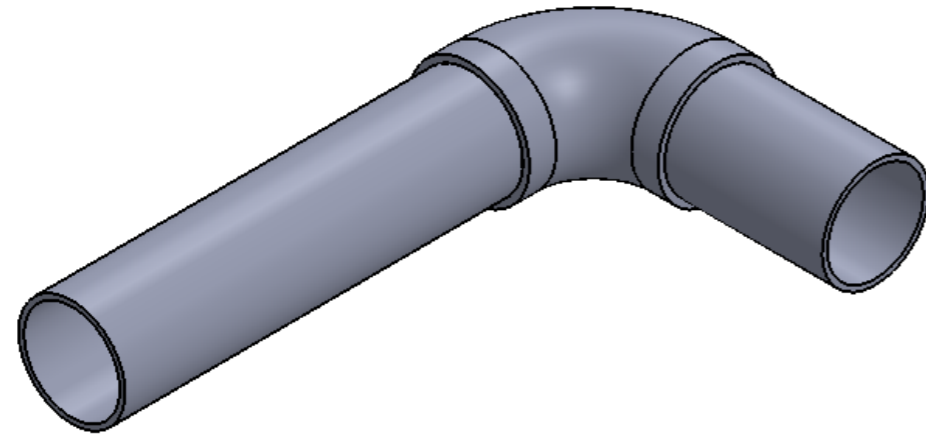
TOLERANCIAS = ± 0,1 mm



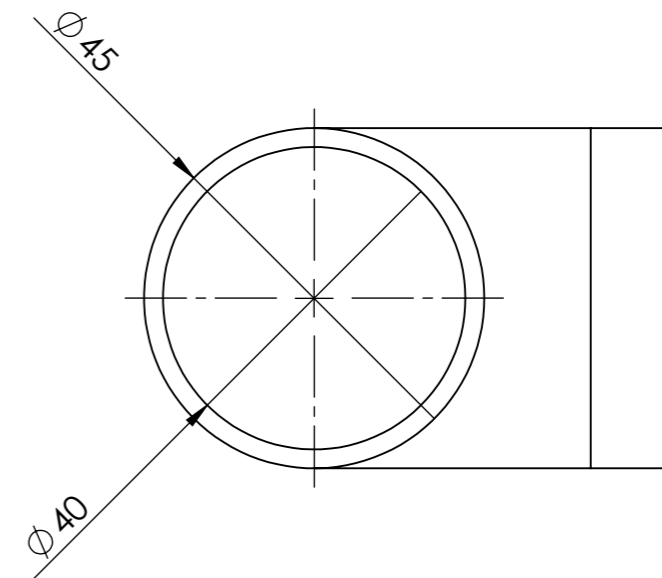
10	1	SOPORTE HOMBRO	1.09	AL 6063
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

Dibujado	Fecha	Autores		 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo	Jose Gutiérrez González		
Comprobado	JUL-2015				
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA: 1:1	PLANO DE CONJUNTO BRAZO FIBRA			Nº P. : 31	
	SOPORTE HOMBRO			Nom.Arch: Plano 31.Soporte hombro.sldrw	

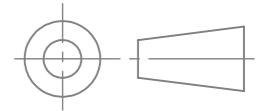


TUBOS DE FIBRA DE CARBONO



CODO DE ALUMINIO DN40x2,5 mm

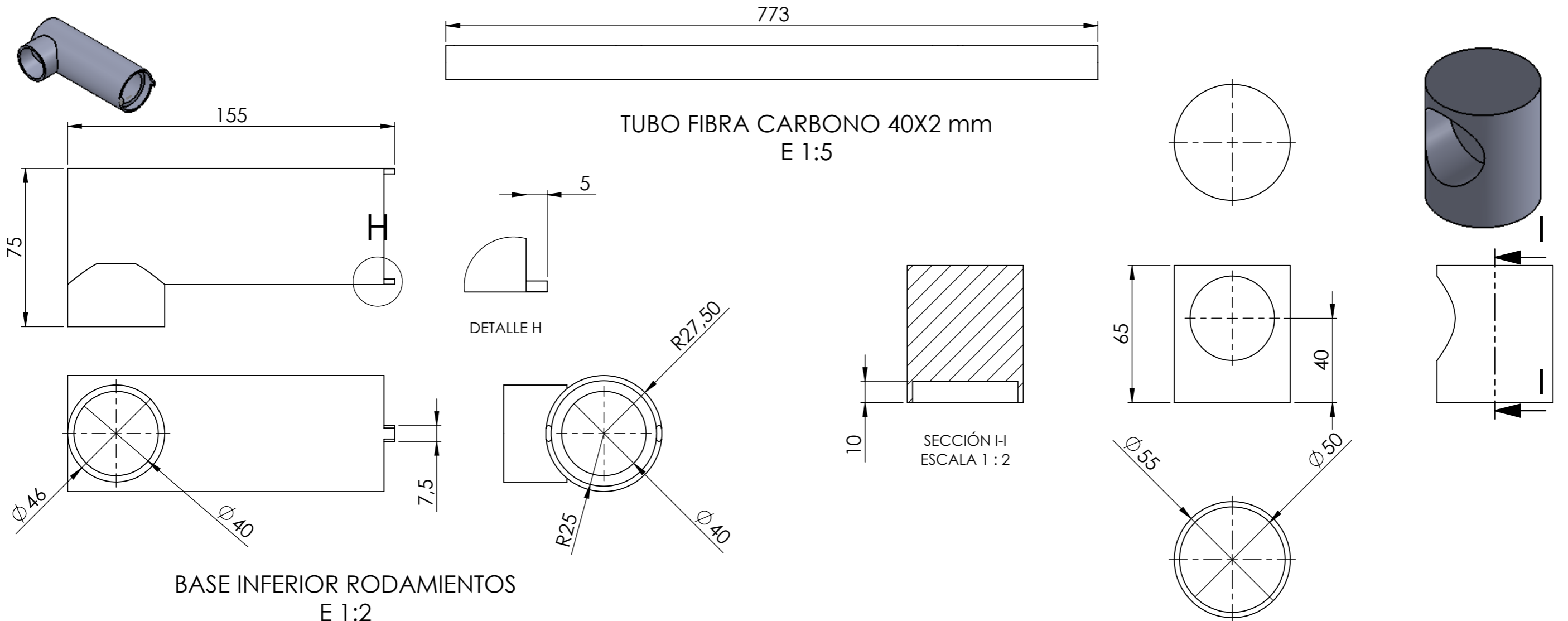
TOLERANCIAS = ± 0,1 mm



11	1	L HOMBRO	1.10	
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

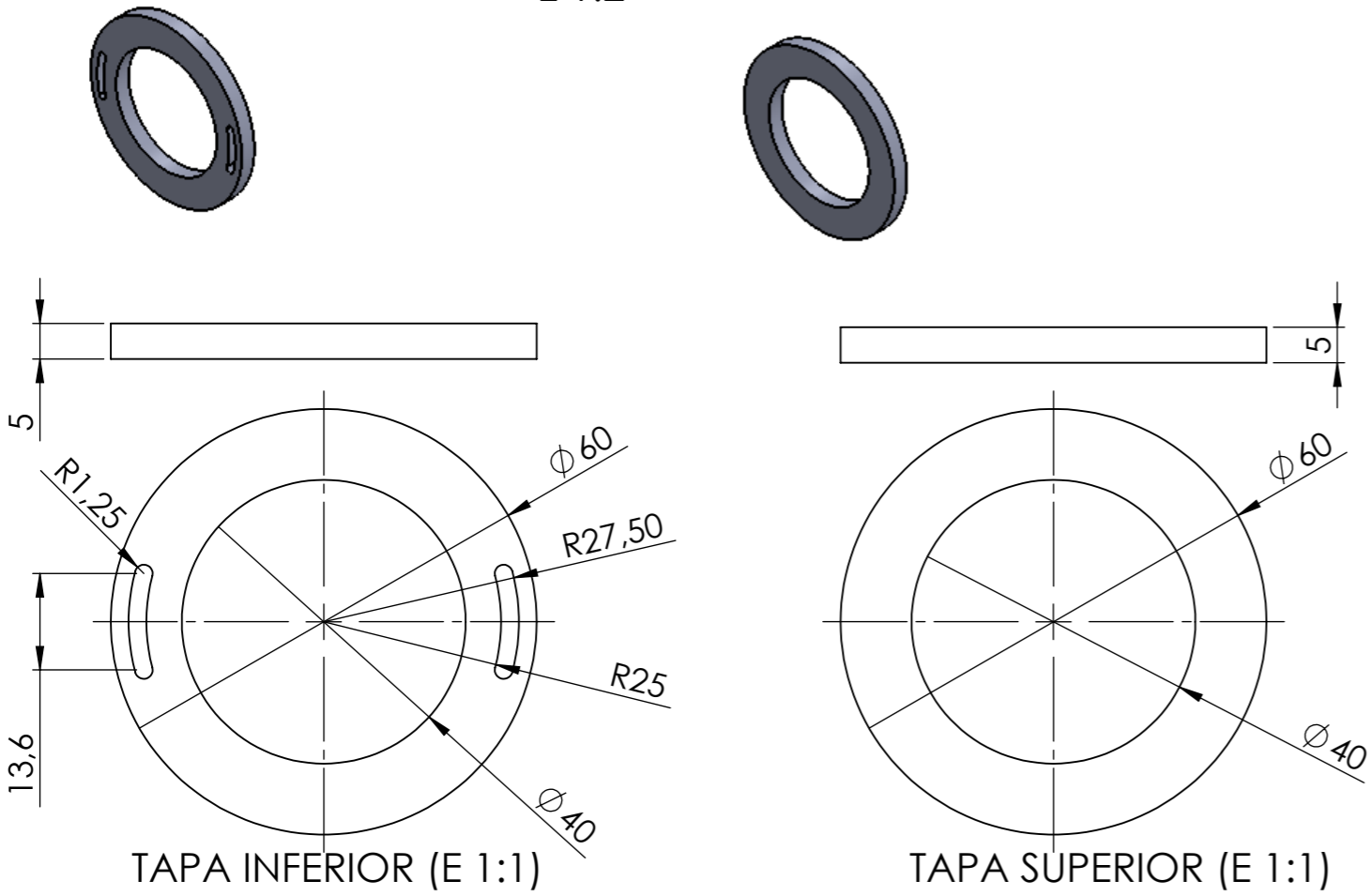
	Fecha	Autores		 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo Jose Gutiérrez González			
Comprobado	JUL-2015				
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA:	PLANO DE CONJUNTO BRAZO FIBRA			Nº P. : 32	
1:1	L HOMBRO			Nom.Arch: Plano 32.L Hombro.slddrw	



TUBO FIBRA CARBONO 40X2 mm
E 1:5

BASE INFERIOR RODAMIENTOS
E 1:2

BASE SUPERIOR RODAMIENTOS
E 1:2



TAPA INFERIOR (E 1:1)

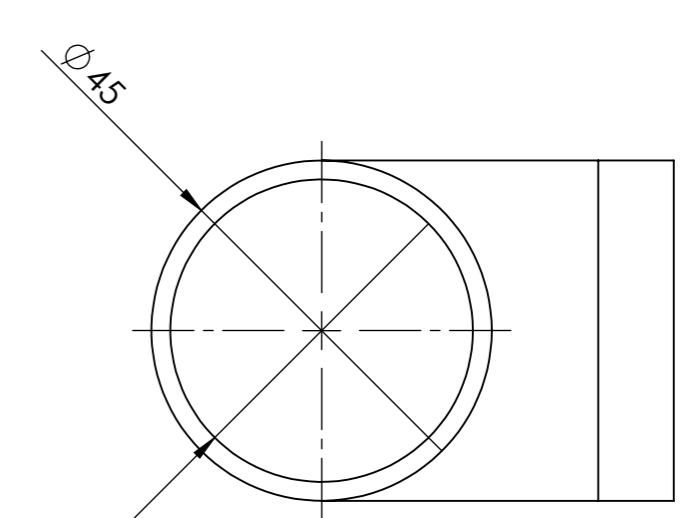
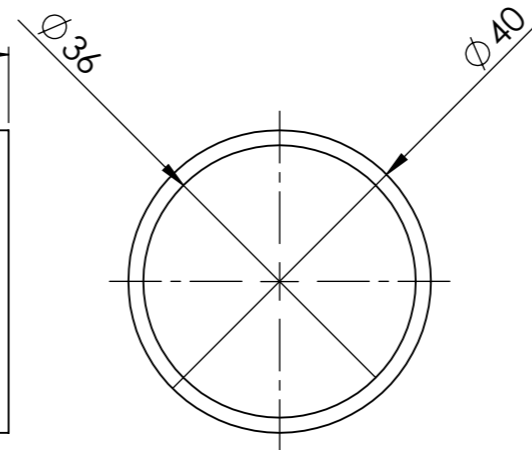
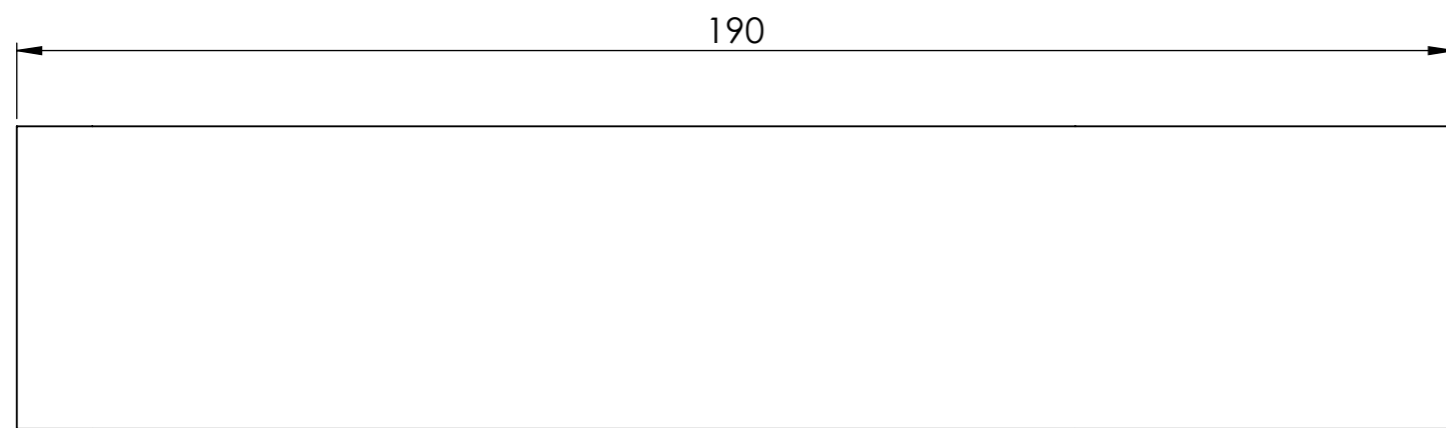
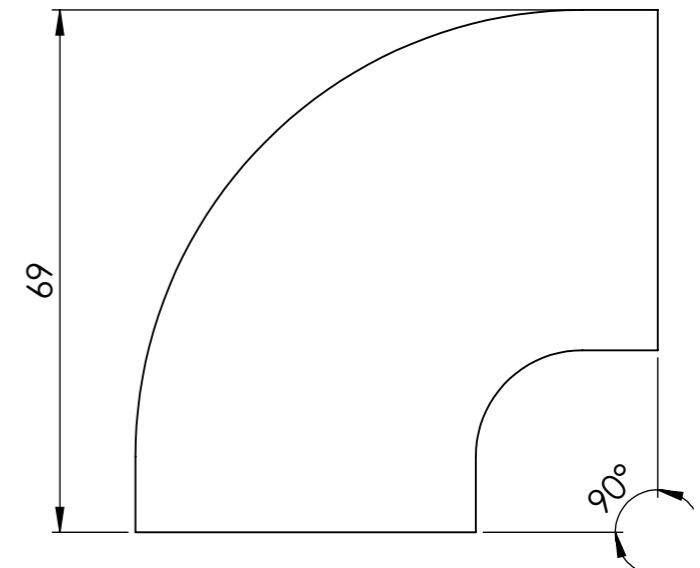
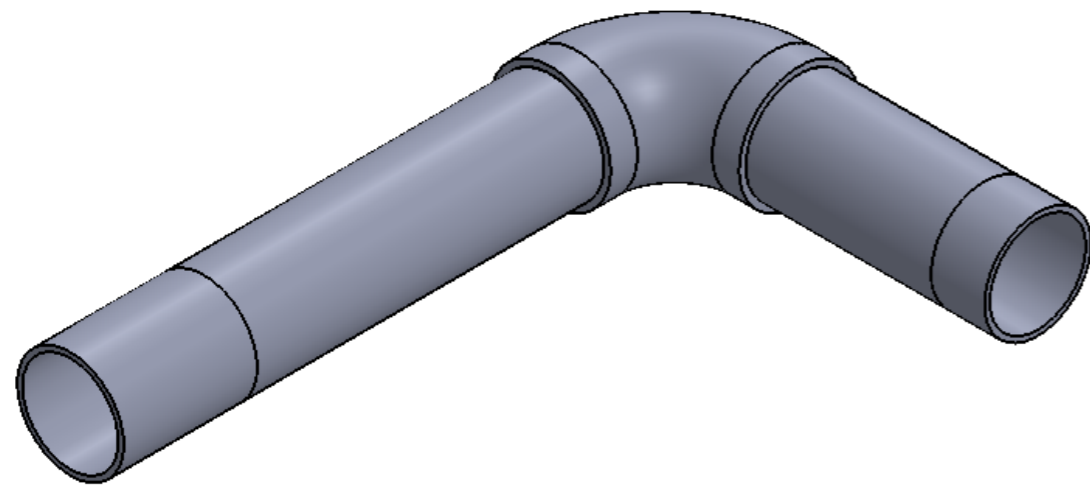
TAPA SUPERIOR (E 1:1)

TOLERANCIAS = ± 0,1 mm

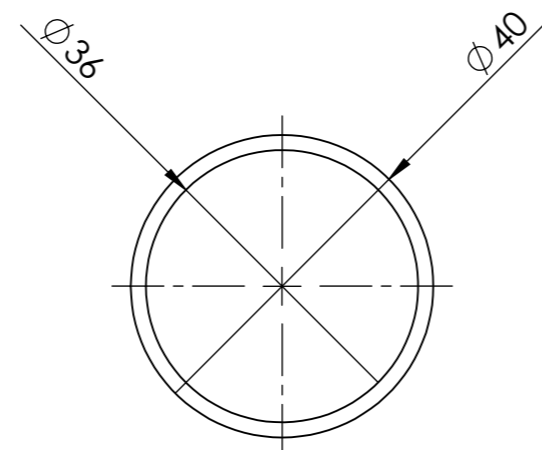
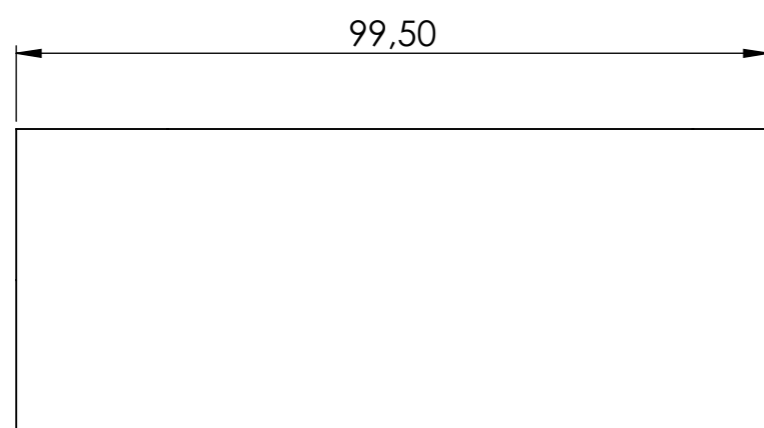
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL
	19	TUBO ESPALDA	1.16	FIBRA CARB.
	17	TAPA INFERIOR RODAM	1.14	AL 6063
	15	TAPA RODAMIENTO	1.13	AL 6063
	14	TAPA SUPERIOR GIRO	1.12	AL 6063
	13	TAPAINFERIOR GIRO	1.11	AL 6063

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

Dibujado	Fecha	Autores		 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo	Jose Gutiérrez González		
Comprobado	JUL-2015				
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA:	PLANO DE CONJUNTO BRAZO FIBRA			Nº P. : 33	
	ESTRUCTURA DE GIRO			Nom.Arch: Plano 33.Estructura de giro.slddrw	

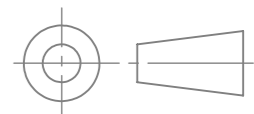


CODO DE ALUMINIO DN40x2.5 mm



TUBOS DE FIBRA DE CARBONO

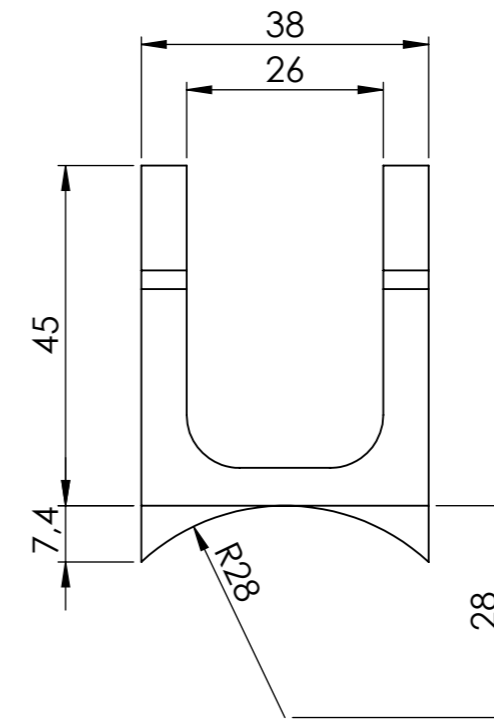
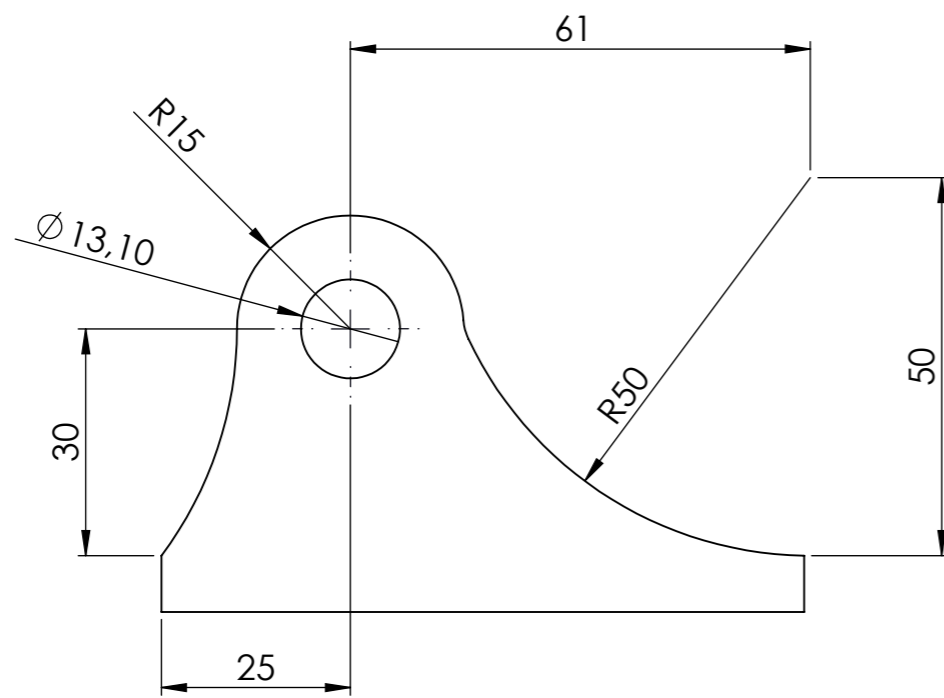
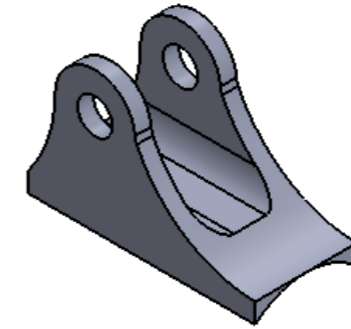
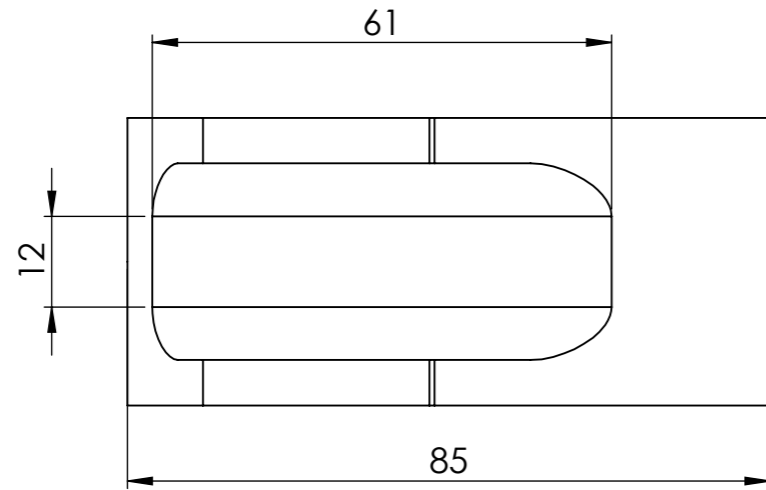
TOLERANCIAS = ± 0,1 mm



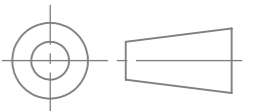
18	1	L ACTUADOR	1.15	
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

	Fecha	Autores		 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo Jose Gutiérrez González			
Comprobado	JUL-2015				
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA:	PLANO DE CONJUNTO BRAZO FIBRA			Nº P. : 34	
1:1	L ACTUADOR			Nom.Arch: Plano 34.L Actuador.slddrw	



TOLERANCIAS = $\pm 0,1$ mm



25	1	LENGÜETA 4	1.19	AL 6063
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO MECÁNICO DE UN EXOSQUELETO PARA CARGAS LIGERAS: BRAZOS

	Fecha	Autores		 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	JUL-2015	Kevin Caraballo Grillo Jose Gutiérrez González			
Comprobado	JUL-2015				
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA:	PLANO DE CONJUNTO BRAZO FIBRA			Nº P. : 35	
1:1	LENGÜETA 4			Nom.Arch: Plano 35.Lengüeta 4.slddrw	



Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología
Sección de Ingeniería Industrial

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

PRESUPUESTO

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO MECÁNICO UN EXOESQUELETO PARA CARGAS
LIGERAS: BRAZOS**

Autores:

**Kevin Eduardo Caraballo Grillo
José Feliciano Gutiérrez González**

Julio 2015

PRESUPUESTO DEL DISEÑO EN ACERO**CAPÍTULO 1: MATERIAL**

Ud	Cantidad	Descripción	Medición	Precio/ud	Precio (€)	
Redondo 50 mm (Acero S355)						
kg	2	Rótula Simple	0,160			
	4	Rótula Doble	0,471			
	2	Rótula Agarre	0,457			
		TOTAL	4	6,73		
		PÉRDIDA DE MATERIAL:	25%	8,41	33,65	€
Chapa de acero de 10 mm de espesor						
kg	2	Lengüeta	0,140			
	2	Lengüeta Trasera	0,222			
	2	Lengüeta Trasera Inferior	0,121			
	2	Lengüeta Actuator	0,070			
	2	Pieza Agarre	0,626			
		TOTAL	3	4,15		
		PÉRDIDA DE MATERIAL:	25%	5,19	15,5625	€
Redondo 65 mm (Acero S355)						
m	2	Soporte Hombro	0,160			
	2	Tapa Superior Giro	0,065			
	2	Tapa Inferior Giro	0,150			
	2	Base Rodamiento 1	0,005			
	4	Base Rodamiento 2	0,005			
		TOTAL	1	105		
		PÉRDIDA DE MATERIAL:	25%	131,25	131,25	€
Tubos de Acero D 21,3x3						
m	2	Refuerzo Hombro	0,2533			
		TOTAL	1	1,86		
		PÉRDIDA DE MATERIAL:	25%	2,33	2,325	€
Tubos de Acero D 40x2						
m	2	Antebrazo	0,75			
	2	Exterior Bíceps	0,18			
		TOTAL	2	5,1		
		PÉRDIDA DE MATERIAL:	25%	6,38	12,75	€
Tubos de Acero D 36x2						
m	2	Interior Bíceps	0,18			
		TOTAL	1	4,5		
		PÉRDIDA DE MATERIAL:	25%	5,63	5,625	€
Tubos de Acero D 33,7x2,6						
m	2	L Hombro	0,219			
	2	L Actuator	0,217			
		TOTAL	1	4,02		
		PÉRDIDA DE MATERIAL:	25%	5,03	5,03	€
TOTAL MATERIAL:					206,19	€

CAPÍTULO 2: MANO DE OBRA

Ud	Cantidad	Descripción	Medición	Precio/ud	Precio	
Mecanizado de piezas						
h	2	Rótula Simple	0,5			
	4	Rótula Doble	0,75			
	2	Rótula Agarre	0,75			
	2	Lengüeta	0,42			
	2	Lengüeta Trasera	0,42			
	2	Lengüeta Trasera Inferior	0,35			
	2	Lengüeta Actuador	0,35			
	2	Pieza Agarre	0,6			
	2	Soporte Hombro	1,2			
	2	Tapa Superior Giro	0,7			
	2	Tapa Inferior Giro	0,6			
	2	Base Rodamiento 1	0,25			
	4	Base Rodamiento 2	0,25			
	2	Refuerzo Hombro	0,45			
	2	Antebrazo	0,1			
	2	Exterior Bíceps	0,35			
	2	Interior Bíceps	0,55			
	2	L Hombro	0,2			
	2	L Actuador	0,2			
			TOTAL	19,98	30	599,4
Soldadura						
h		TOTAL	4	45	180	€
TOTAL MANO DE OBRA:					779,4	€

CAPÍTULO 3: ACTUADORES Y CABLES

Ud	Cantidad	Descripción	Medición	Precio/ud	Precio	
Actuadores						
ud	4	SKF CAR 40 (s=200 mm)	1			
		TOTAL	4	620,7	2482,8	€
Cables						
m	1	RKV 1,5mm2	2,5			
		TOTAL	3	1,75	5,25	€
TOTAL ELÉCTRICO:					2488,05	€

CAPÍTULO 4: PASADORES Y RODAMIENTOS

Ud	Cantidad	Descripción	Medición	Precio/ud	Precio	
		Pasadores				
ud	4	ISO 2341 - B -10x40x3.2	1			
		TOTAL	4	1,14	4,56	€
	4	ISO 2341 - B -16x40x4	1			
		TOTAL	4	1,44	5,76	€
	4	ISO 2341 - B -10x90x4	1			
		TOTAL	4	1,9	7,6	€
		Rodamientos de Bolas				
ud	4	ISO 15-3840	1			
		TOTAL	4	1,75	7	€
TOTAL PASAD. Y ROD.:					29,02	€

TOTAL CAPÍTULOS:

Descripción	Precio
Capítulo 1: Material	206,19
Capítulo 2: Mano de Obra	779,4
Capítulo 3: Actuadores y Cables	2488,05
Capítulo 4: Pasadores y Rodamientos	29,02
TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL:	3502,66 €

El presupuesto de ejecución material para la fabricación de los dos brazos, asciende a la cantidad de TRES MIL QUINIENTOS DOS EUROS CON SESENSA Y SEIS CÉNTIMOS

PRESUPUESTO DEL DISEÑO Y FIBRA DE CARBONO Y ALUMINIO**CAPÍTULO 1: MATERIAL**

Ud	Cantidad	Descripción	Medición	Precio/ud	Precio	
		Redondo 60 mm (Aluminio 6063)				
kg	2	Rótula Simple	0,210			
	4	Rótula Doble	0,218			
	2	Rótula Agarre	0,392			
	2	Codo	0,140			
		TOTAL	3	9,3		
		PÉRDIDA DE MATERIAL:	25%	11,63	34,88	€
		Tocho Aluminio 6063 150x80x80				
kg	2	Anilla-Lengüeta	0,208			
	2	Lengüeta Trasera	0,063			
	2	Lengüeta Trasera Inferior	0,042			
	2	Anilla-Lengüeta Actuador	0,097			
	2	Pieza Agarre	0,423			
		TOTAL	2	24,09		
	PÉRDIDA DE MATERIAL:	25%	30,11	60,22	€	
		Redondo 65 mm (Aluminio 6063)				
kg	2	Soporte Hombro	0,570			
	2	Tapa Superior Giro	0,286			
	2	Tapa Inferior Giro	0,462			
	2	Base Rodamiento 1	0,015			
	4	Base Rodamiento 2	0,040			
		TOTAL	3	11,5		
	PÉRDIDA DE MATERIAL:	25%	14,38	43,13	€	
		Tubos de Fibra de Carbono D 50x3				
m	2	Antebrazo	0,75			
		TOTAL	2	108,1		
		PÉRDIDA DE MATERIAL:	25%	135,13	270,25	€
		Tubos de Fibra de Carbono D 50x2				
m	2	Exterior Bíceps	0,18			
		TOTAL	1	86,83		
		PÉRDIDA DE MATERIAL:	25%	108,54	108,54	€
		Tubos de Fibra de Carbono D 45x2				
m	2	Interior Bíceps	0,219			
		TOTAL	1	76,9		
		PÉRDIDA DE MATERIAL:	25%	96,13	96,13	€
		Tubos de Fibra de Carbono D 40x2				
m	2	L hombro corto	0,069			
	2	L hombro largo	0,159			
	2	L actuador corto	0,0995			
	2	L actuador largo	0,19			
	2	Giro	0,773			
		TOTAL	3	70,92		
	PÉRDIDA DE MATERIAL:	25%	88,65	265,95	€	
				TOTAL MATERIAL	879,08	€

CAPÍTULO 2: MANO DE OBRA

Ud	Cantidad	Descripción	Medición	Precio/ud	Precio	
		Mecanizado de piezas				
h	2	Rótula Simple	0,4			
	4	Rótula Doble	0,6			
	2	Rótula Agarre	0,6			
	2	Codo	0,35			
	2	Anilla-Lengüeta	0,5			
	2	Lengüeta Trasera	0,3			
	2	Lengüeta Trasera Inferior	0,3			
	2	Anilla-Lengüeta Actuador	0,55			
	2	Pieza Agarre	1,2			
	2	Soporte Hombro	0,7			
	2	Tapa Superior Giro	0,5			
	2	Tapa Inferior Giro	0,6			
	2	Base Rodamiento 1	0,15			
	4	Base Rodamiento 2	0,15			
	2	Antebrazo	0,25			
	2	Exterior Bíceps	0,35			
	2	Interior Bíceps	0,35			
	2	L Hombro	0,2			
2	L Actuador	0,2				
		TOTAL	18	30	540	€
		Unión de piezas				
h		TOTAL	3	20	60	€
TOTAL MANO DE OBRA:					600	€

CAPÍTULO 3: ACTUADORES Y CABLES

Ud	Cantidad	Descripción	Medición	Precio/ud	Precio	
		Actuadores				
ud	4	SKF CAHB-21 (s=204mm)	1			
		TOTAL	4	370,41	1481,64	€
		Cables				
m	1	RKV 1,5mm2	2,5			
		TOTAL	3	1,75	5,25	€
TOTAL ELÉCTRICO:					1486,89	€

CAPÍTULO 4: PASADORES Y RODAMIENTOS

Ud	Cantidad	Descripción	Medición	Precio/ud	Precio	
		Pasadores				
ud	4	ISO 2341 - B -10x50x3.2	1			
		TOTAL	4	1,24	4,96	€
	2	ISO 2341 - B -10x100x3.2	1			
		TOTAL	2	1,9	3,8	€
	8	ISO 2341 - B -10x45x3.2	1			
		TOTAL	8	1,14	9,12	€
		Rodamientos de Bolas				
ud	4	ISO 15-3840	1			
		TOTAL	4	1,75	7	€
TOTAL PIEZAS:					24,88	€

TOTAL CAPÍTULOS:

Descripción	Precio
Capítulo 1: Material	879,08
Capítulo 2: Mano de Obra	600
Capítulo 3: Actuadores y Cables	1486,89
Capítulo 4: Pasadores y Rodamientos	24,88
TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL:	2990,85 €

El presupuesto de ejecución material para la fabricación de los dos brazos, asciende a la cantidad de DOS MIL NOVECIENTOS NOVENTA EUROS CON OCHENTA Y CINCO EUROS