



Universidad
de La Laguna

Escuela Superior de
Ingeniería y Tecnología
Sección de Ingeniería Industrial

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

TRABAJO FIN GRADO

DISEÑO DE UN EXOESQUELETO: TORSO

Titulación: Grado en Ingeniería Mecánica

Alumnos: Moisés Jiménez Rodríguez

Fabián de León Mazariegos

Tutor: Carmelo Militello Militello

Julio, 2015

Índice General

Índice Memoria

0. Hoja de identificación.....	7
1. Object	8
2. Alcance	9
3. Antecedentes.....	11
4. Normas y Referencias.....	14
4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas	14
4.2. Bibliografía.....	14
4.3. Programas de cálculo.....	14
5. Requisitos de Diseño	15
5.1. El exoesqueleto general	15
5.1.1. Partes del exoesqueleto.....	15
5.2. Interfaces	18
5.3. Antropometría.....	21
5.3.1. Brazos	21
5.3.2. Torso	25
5.3.2.1. Anchura espalda	25
5.3.2.2. Altura de espalda	29
5.3.2.3. Dimensiones del asiento del exoesqueleto	31
5.3.2.4. Dimensiones del apoyo de la espalda	36
5.3.2.5. Dimensiones estructura de seguridad	38
5.3.3. Base	43
5.3.3.1. Dimensiones del tren inferior	43

5.4. Alcances del movimiento	45
5.4.1. Brazo.....	46
5.4.2. Base y espalda	53
5.4.3. Dimensiones globales	54
6. Análisis de Soluciones.....	56
6.1. Sistema de subida y bajada del brazo	56
6.1.1. Primer modelo	56
6.1.2. Segundo modelo	57
6.1.3. Modelo final	58
6.2. Hombro.....	60
6.2.1. Modelos conjuntos.....	60
6.2.1.1. Primer modelo	60
6.2.2. Modelos separados	64
6.2.2.1. Estructura del hombro	69
6.2.2.1.1. Primer modelo	69
6.2.2.1.2. Modelo final	70
6.2.2.2. Estructura de soporte	76
6.2.2.2.1. Primer modelo	76
6.2.2.2.2. Modelo final	77
6.3. Perfil de la columna.....	80
6.3.1. Primer modelo	80
6.3.2. Segundo modelo	82
6.3.3. Tercer modelo.....	83
6.3.4. Modelo final	84
6.4. Unión física de la espalda con la base del exoesqueleto	87
6.4.1. Primer modelo	87
6.4.2. Segundo modelo	89

6.4.3. Modelo final	91
6.5. Asiento del exoesqueleto	95
6.5.1. Modelo final	95
6.6. Estructura de seguridad	98
6.6.1. Primer modelo	98
6.6.2. Segundo modelo	99
6.6.3. Modelo final	100
7. Resultados finales	101
7.1. Estructura del hombro y soporte del actuador	101
7.2. Sistema de subida y bajada del brazo	102
7.3. Columna de la espalda.....	104
7.4. Unión física de la espalda y la base del exoesqueleto	106
7.5. Asiento del exoesqueleto	108
7.6. Estructura de seguridad	109
7.7. Ensamble conjunto de proyectos incluidos	111
8. Conclusion	115
9. Índice de figuras	116
10. Índice de tablas	120

Índice Anexo I: Cálculos

1.	Cálculo de la fuerza ejercida por el actuador del hombro para sostener una carga ..	7
1.1.	Objeto.....	7
1.2.	Definición de los componentes del sistema.....	7
1.3.	Definición de parámetros definidos por el usuario.....	9
1.4.	Definición del sistema estático.....	10
1.5.	Definición de parámetros geométricos.....	11
1.5.1.	Cálculo del ángulo θ	12
1.6.	Cálculo de momentos.....	13
1.6.1.	Momento ejercido por la carga Q y F_G	13
1.6.2.	Momento ejercido por el actuador en Y.....	14
1.6.3.	Momento ejercido por el actuador en X.....	15
1.7.	Cálculo de la fuerza ejercida por el actuador.....	15
1.8.	Cálculo de las reacciones en el hombro.....	16
1.9.	Resultados de cálculo.....	17
2.	Cálculo esfuerzos sobre guías lineales de la espalda	20
2.1.	Objeto del anexo	20
2.2.	Esquemas de cargas	20
2.3.	Cálculo de los esfuerzos aplicados	24
2.4.	Comprobación idoneidad guía lineal	29
2.4.1.	Situación estática	30
2.4.2.	Situación dinámica	30
3.	Dimensionado de los tornillos.....	32
3.1.	Objeto.....	32
3.2.	Cálculo del diámetro mínimo de la espiga.....	32
3.2.1.	Placa de la estructura del hombro.....	32

3.2.2.	Placa de la estructura de soporte.....	38
3.2.3.	Placa del asiento	39
3.2.4.	Resultados.....	40
3.3.	Cálculo de la resistencia de la rosca del tornillo.....	41
3.3.1.	Estructura del hombro	41
3.3.1.1.	Placa de la estructura del hombro	41
3.3.1.2.	Cilindro giratorio de la estructura del hombro	50
3.3.2.	Estructura de soporte	51
3.3.2.1.	Placa de la estructura de soporte	51
3.3.2.2.	Bisagra de la estructura de soporte.....	53
3.3.3.	Placa del asiento	54
3.3.4.	Resultados.....	55
4.	Análisis de la estructura del hombro	57
4.1.	Objeto.....	57
4.2.	Consideraciones	57
4.3.	Materiales de cada elemento.....	58
4.4.	Restricciones	60
4.4.1.	Sujeciones de la estructura	60
4.4.2.	Condiciones de contacto	60
4.5.	Esquema de cargas.....	61
4.6.	Mallado	62
4.7.	Resultados.....	63
4.8.	Análisis de resultados	64
4.8.1.	Análisis de soldaduras	66
5.	Análisis de la estructura de soporte.....	69
5.1.	Objeto.....	69
5.2.	Consideraciones	69

5.3.	Materiales de cada elemento	70
5.4.	Restricciones	71
5.4.1.	Sujeciones de la estructura	71
5.4.2.	Condiciones de contacto	71
5.5.	Esquema de cargas.....	72
5.6.	Mallado	73
5.7.	Resultados.....	74
5.8.	Análisis de resultados	76
5.8.1.	Análisis de soldaduras	78
6.	Análisis del perfil de la columna.....	80
6.1.	Objeto.....	80
6.2.	Consideraciones	80
6.3.	Materiales de cada elemento.....	81
6.4.	Restricciones	82
6.4.1.	Sujeciones en la estructura	82
6.5.	Esquemas de cargas	83
6.6.	Mallado	86
6.7.	Resultados.....	87
6.8.	Análisis de resultados	88
6.9.	Análisis de soldadura.....	89
7.	Análisis de la placa de sujeción de los soportes móviles.....	92
7.1.	Objeto.....	92
7.2.	Consideraciones	92
7.3.	Materiales de cada elemento.....	93
7.4.	Restricciones.....	94
7.4.1.	Sujeciones en la estructura	94
7.5.	Esquemas de cargas	95

7.6.	Mallado	96
7.7.	Resultados	97
7.8.	Análisis de resultados	98
8.	Análisis de la estructura del asiento	100
8.1.	Objeto.....	100
8.2.	Consideraciones	100
8.3.	Materiales de cada elemento	101
8.4.	Restricciones	102
8.4.1.	Sujeciones de la estructura	102
8.5.	Caso 1	103
8.5.1.	Esquema de cargas.....	103
8.5.2.	Mallado.....	104
8.5.3.	Resultados.....	105
8.6.	Caso 2	106
8.6.1.	Esquema de cargas.....	106
8.6.2.	Resultados.....	107
8.7.	Análisis de resultados	108
8.8.	Análisis de soldadura	110
9.	Índice de figuras	113
10.	Índice de tablas	116

Índice Anexo II: Catálogos

1. Catálogo Actuador Lineal ALIA 4 24 Vdc MECVEL
2. Catálogo Mesa Lineal IGUS Drylin T TW-01-30
3. Catálogo METALCO S.A. Perfiles Metálicos
4. Catálogo TUBASOL Grupo Hastinik Perfiles Metálicos

Índice Planos

1. Conjunto torso
 - 1.1. Subconjunto estructura de seguridad
 - 1.1.1. Estructura de seguridad
 - 1.2. Subconjunto estructura del hombro
 - 1.2.1. Perfil tubular y placa hombro
 - 1.2.2. Estructura retráctil hombro
 - 1.2.3. Cilindro giratorio
 - 1.2.4. Perno hombro
 - 1.2.5. Oreja desmontable
 - 1.2.6. Buje de bronce 2
 - 1.3. Subconjunto estructura de la columna
 - 1.3.1. Columna
 - 1.3.2. Separador
 - 1.3.3. Apoyo espalda
 - 1.4. Subconjunto estructura del asiento
 - 1.4.1. Soporte tija
 - 1.4.2. Sillín

- 1.5. Subconjunto estructura de soporte
 - 1.5.1. Estructura retráctil soporte
 - 1.5.2. Perfiles tubulares y horquilla soporte
 - 1.5.3. Buje de bronce y tapa

Índice Pliego de Condiciones

1.	Pliego de condiciones	4
1.2.	Condiciones generales	4
1.2.1.	Condiciones de uso general	4
1.3.	Condiciones técnicas.....	5
1.3.1.	Acabados superficiales	5
1.3.2.	Montaje.....	5
1.3.3.	Mantenimiento.....	8
2.	Índice de Tablas.....	9

Índice Presupuesto

1.	Subconjunto Estructura del Hombro	4
2.	Subconjunto Estructura de Soporte	5
3.	Subconjunto Estructura de la Columna.....	5
4.	Subconjunto Estructura del Asiento	6
5.	Actuador Lineal Eléctrico	6
6.	Montaje.....	6
7.	Cuantía Total	7

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

MEMORIA

TRABAJO DE FIN DE GRADO

TÍTULO

DISEÑO DE UN EXOESQUELETO: TORSO

AUTORES

Fabián de León Mazariegos

Moisés Jiménez Rodríguez

TUTOR

Carmelo Militello Militello

Índice Memoria

0. Hoja de identificación.....	7
1. Object	8
2. Alcance	9
3. Antecedentes.....	11
4. Normas y Referencias.....	14
4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas	14
4.2. Bibliografía.....	14
4.3. Programas de cálculo.....	14
5. Requisitos de Diseño	15
5.1. El exoesqueleto general	15
5.1.1. Partes del exoesqueleto.....	15
5.2. Interfaces	18
5.3. Antropometría.....	21
5.3.1. Brazos	21
5.3.2. Torso.....	25
5.3.2.1. Anchura espalda	25
5.3.2.2. Altura de espalda	29
5.3.2.3. Dimensiones del asiento del exoesqueleto	31
5.3.2.4. Dimensiones del apoyo de la espalda.....	36
5.3.2.5. Dimensiones estructura de seguridad	38
5.3.3. Base	43
5.3.3.1. Dimensiones del tren inferior	43
5.4. Alcances del movimiento	45
5.4.1. Brazo.....	46
5.4.2. Base y espalda	53
5.4.3. Dimensiones globales.....	54

6. Análisis de Soluciones.....	56
6.1. Sistema de subida y bajada del brazo	56
6.1.1. Primer modelo	56
6.1.2. Segundo modelo	57
6.1.3. Modelo final	58
6.2. Hombro.....	60
6.2.1. Modelos conjuntos.....	60
6.2.1.1. Primer modelo	60
6.2.2. Modelos separados	64
6.2.2.1. Estructura del hombro	69
6.2.2.1.1. Primer modelo	69
6.2.2.1.2. Modelo final	70
6.2.2.2. Estructura de soporte	76
6.2.2.2.1. Primer modelo	76
6.2.2.2.2. Modelo final	77
6.3. Perfil de la columna.....	80
6.3.1. Primer modelo	80
6.3.2. Segundo modelo	82
6.3.3. Tercer modelo.....	83
6.3.4. Modelo final	84
6.4. Unión física de la espalda con la base del exoesqueleto	87
6.4.1. Primer modelo	87
6.4.2. Segundo modelo	89
6.4.3. Modelo final	91
6.5. Asiento del exoesqueleto	95
6.5.1. Modelo final	95
6.6. Estructura de seguridad	98

6.6.1. Primer modelo	98
6.6.2. Segundo modelo	99
6.6.3. Modelo final	100
7. Resultados finales	101
7.1. Estructura del hombro y soporte del actuador	101
7.2. Sistema de subida y bajada del brazo	102
7.3. Columna de la espalda.....	104
7.4. Unión física de la espalda y la base del exoesqueleto	106
7.5. Asiento del exoesqueleto	108
7.6. Estructura de seguridad	109
7.7. Ensamble conjunto de proyectos incluidos	111
8. Conclusion.....	115
9. Índice de figuras	116
10. Índice de tablas	120

0. Hoja de identificación

Proyecto

Diseño de un exoesqueleto: torso.

Solicitante: Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología, Universidad de La Laguna.

Dirección: Avenida Astrofísico Francisco Sánchez, s/n.
San Cristóbal de La Laguna,
Santa Cruz de Tenerife.

Proyectistas

Nombre:	Fabián de León Mazariegos	Moisés Jiménez Rodríguez
DNI:	54063865-L	78640861-C
Dirección:	C/ Marqués de Celada, Nº 71, 3º G	TF-320, La Vera, Nº 26
Localidad:	San Cristóbal de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife	La Orotava, Santa Cruz de Tenerife

1. Object

The objective of this project is the design and structural verification of an exoskeleton to handle low and medium loads in reduced work areas. Because of the magnitude of the tasks involved the design has been subdivided in three smaller parts: arms, torso and self-propelled base. Each part will be designed by a different team. The teams must define the interfaces so that the objective of having the parts working as a whole can be achieved.

2. Alcance

El diseño proyectado en este documento tiene la finalidad de especificar las dimensiones y características de la estructura de un exoesqueleto destinado al manejo de cargas. En particular, este documento tiene como objetivo la definición de la parte del torso del mismo exoesqueleto, siendo el diseño de las demás partes del mismo tarea de las otras partes del proyecto global del cual el presente proyecto forma parte.

En este proyecto se recogen todos los diseños correspondientes a cada uno de los componentes que forman parte del torso del exoesqueleto, siendo estos la columna vertebral del exoesqueleto, los hombros y soportes inferiores del actuador del hombro, el asiento y unión del torso con el chasis inferior del exoesqueleto.

Para el diseño de aquellas partes conflictivas, las cuales podrían considerarse tanto como parte de los miembros inferiores/superiores como del torso, se han definido una serie de interfaces con el objetivo de individualizar cada proyecto tanto como fuese posible, de modo que cada equipo de trabajo realizase su diseño de forma autónoma, no sin tener en cuenta las condiciones generales del diseño. Toda esta información se detalla en el apartado *requisitos del diseño* del presente proyecto.

En lo que respecta a la posible fabricación de un modelo inicial, este únicamente llegará al diseño estructural del mismo. Además, puesto que el exoesqueleto será manejado por un operario que tendrá que trabajar de manera cómoda y sin comprometer su propia seguridad, se ha realizado un estudio antropométrico previo al diseño estructural.

No se contempla en este proyecto ni el diseño eléctrico ni del sistema de control necesario para el funcionamiento del prototipo. Únicamente se ha previsto de su existencia, dando la posibilidad de su instalación en un futuro proyecto complementario al proyecto global al cual el presente proyecto pertenece.

El estudio de los estados tensionales generados por las diversas situaciones de carga se ha realizado mediante el software de elementos finitos SolidWorks™. Se han considerado únicamente estudios estáticos de carga aplicando un determinado

coeficiente de seguridad, con la finalidad de contemplar los posibles efectos de cargas dinámicas o de impacto que puedan acaecer durante el funcionamiento.

Al tratarse del diseño de un prototipo, este proyecto no contempla ninguna norma o legislación aplicada al diseño, así como tampoco de estudio de seguridad y salud.

3. Antecedentes

Las dolencias de espalda, y más comúnmente la lumbalgia son unas de las causas más comunes de baja laboral en España y en el mundo desarrollado, dado que se trata de una zona fácil de lesionar debido a que sostiene la mayor parte del peso del cuerpo. Así mismo, el manejo de cargas (incluido su levantamiento, desplazamiento, sostenimiento o transporte), especialmente cuando se excede la capacidad física del operario y el empleo de una postura inadecuada aumenta las probabilidades de sufrir dolores tanto en la zona lumbar como en la espalda en general. En el Reino Unido, el índice estimado de personas con enfermedades musculoesqueléticas en la espalda (nuevos casos) en el período laboral 2013/2014 fue de 69000. Así mismo, el número total de casos para el mismo período laboral asciende a 228000. Esto implica que, para el mismo período laboral, el número estimado de días de trabajo perdidos para toda la población como consecuencia de estas enfermedades asciende a 2,8 millones, lo que se traduce en que cada persona con dolencia de espalda en edad laboral toma una media de 12,3 días de baja al año como consecuencia de ésta, según Health and Safety Executive. Las figuras adjuntas 1 y 2 muestran el número total de nuevos incidentes así como el número total de casos.

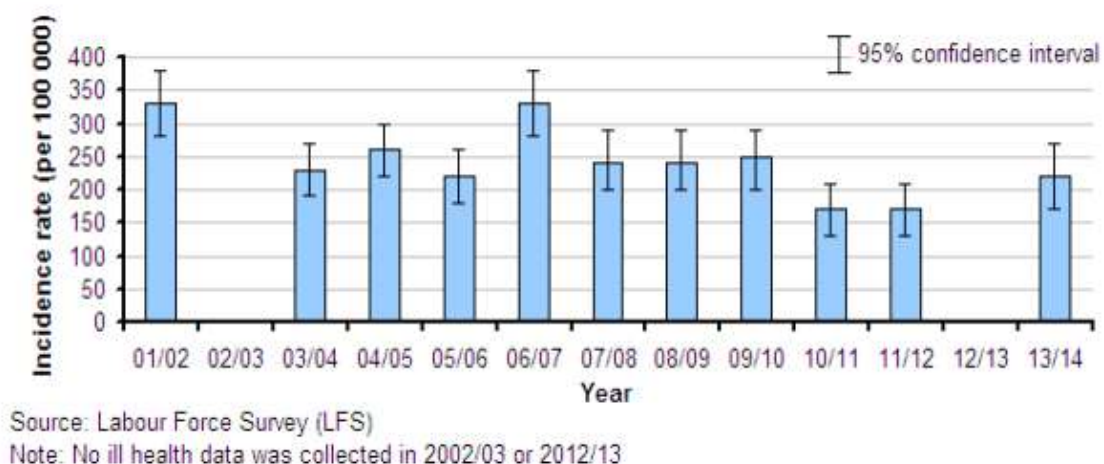
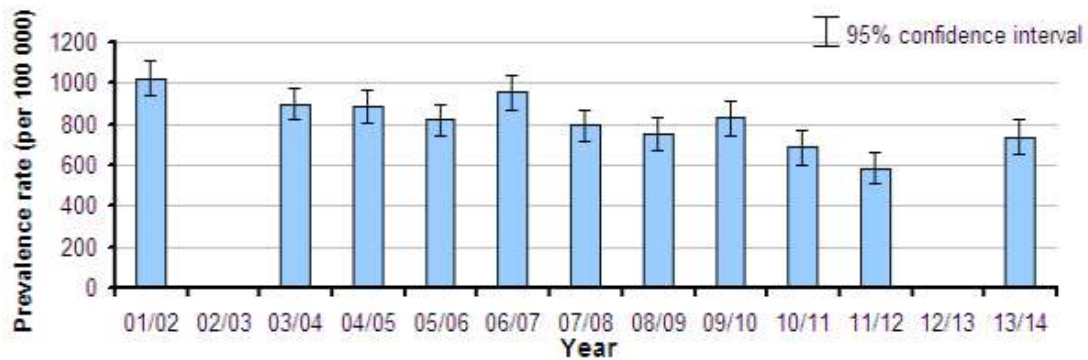


Figura 1. Incidencias (nuevos casos) de dolencias de espalda. Fuente: Health and Safety Executive.

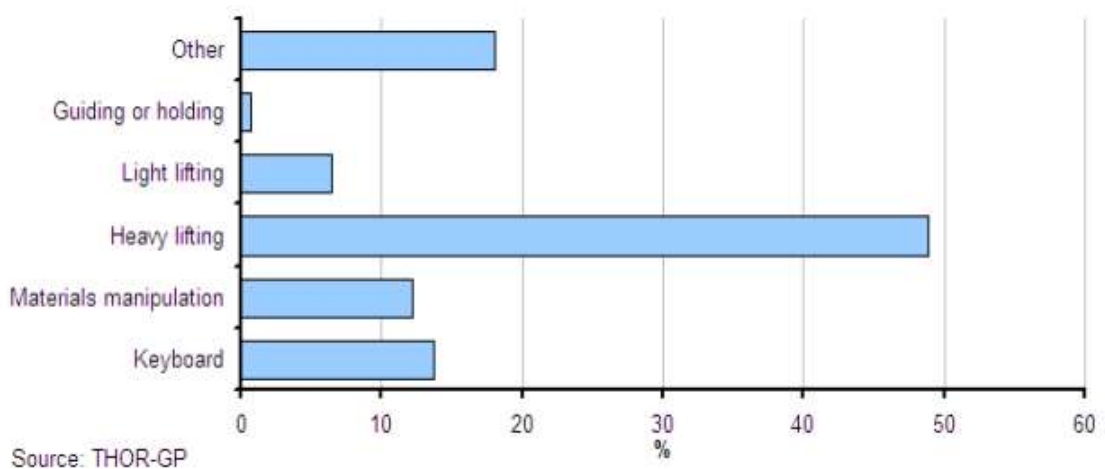


Source: Labour Force Survey (LFS)

Note: No ill health data was collected in 2002/03 or 2012/13

Figura 2. Prevalencia de dolencias de la espalda. Fuente: Health and Safety Executive.

En concreto, la mayor parte de estas dolencias recaen en trabajadores encargados del levantamiento de cargas pesadas, tal y como muestran las figuras 3 y 4.



Source: THOR-GP

Figura 3. Tareas principales a las que se les atribuyen los casos de dolencia de espalda. Fuente: Health and Safety Executive.

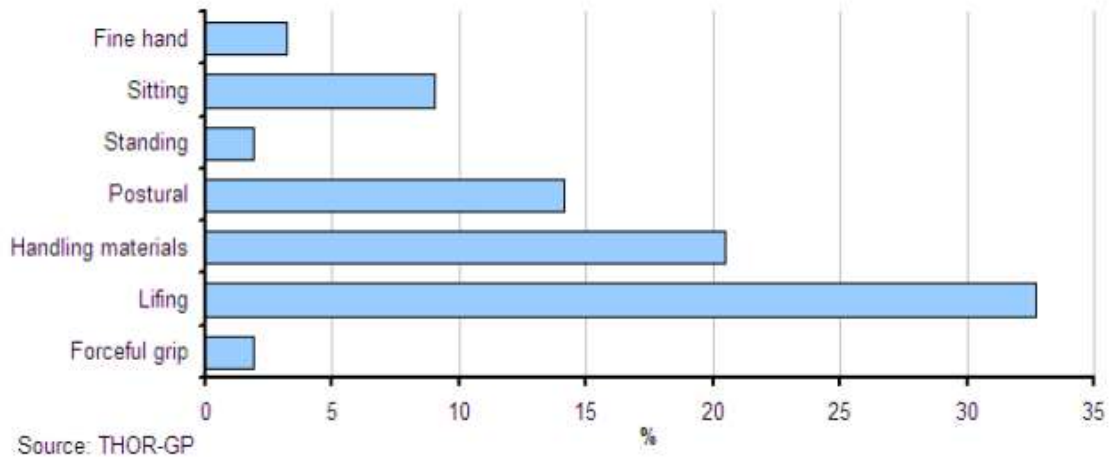


Figura 4. Acciones principales a las cuales se les atribuyen los casos de dolencia de espalda. Fuente: Health and Safety Executive.

Actualmente, el uso de máquinas de elevación y transporte tales como carretillas elevadoras han mejorado las condiciones laborales de los trabajadores. Debido a la normalización de componentes, a la intercambiabilidad de sus elementos y a su fácil mantenimiento, estas máquinas se han vuelto muy populares en los entornos industriales. Sin embargo, estas se emplean principalmente para el transporte y elevación de cargas pesadas, no impidiendo el levantamiento de pequeñas y medianas cargas por parte de los operarios, y haciendo como consecuencia que se mantenga la posibilidad de sufrir una dolencia en la espalda a causa de ello. Además sus dimensiones, a pesar de ser reducidas, no llegan a serlo tanto como para permitir su maniobrabilidad en espacios reducidos, el traspaso de puertas, etcétera.

Para evitar estos inconvenientes, varias compañías han tratado de reducir las dimensiones de sus productos, con el objetivo de que mantengan las características que demanda el consumidor, pero siempre manteniendo la idea original.

Como consecuencia de ello, y con el objetivo de realizar un planteamiento distinto, se propone el diseño de una máquina de bajo coste que sea capaz de transportar cargas medianas y pequeñas, de uso sencillo y que permita una buena maniobrabilidad en espacios reducidos, además de presentar un mantenimiento sencillo y una cantidad de elementos muy inferior a las de otros medios de elevación y transporte industrial.

4. Normas y Referencias

4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

Puesto que se trata de el diseño de un prototipo, no se ha contemplado ninguna disposición legal u norma para la realización del mismo.

En lo que respecta a la acotación de los planos, se han tenido en cuenta las normas de acotación vigentes UNE 1039-94 (ISO 129-1973), así como la normativa interna de la Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de La Laguna para la redacción de Trabajos de Fin de Grado UNE 157001 “Criterios para la elaboración de proyectos”.

4.2. Bibliografía

- Timoshenko Resistencia de Materiales.
- Diseño de Elementos de Máquinas. Robert L. Mott. Editorial Pearson. Cuarta edición. 2006
- Diseño en Ingeniería Mecánica. Joseph E. Shigley y Charles R. Mischke. Editorial McGRAW-HILL. Sexta edición. 2004
- Tratado teórico-práctico de Elementos de Máquinas, cálculo, diseño y construcción. G. Niehmann. Editorial Labor. Segunda edición 1973.
- Manual de Antropometría Normal Patológica, Pablo Lapunzina & Horacio Aiello, Ed. Masson.
- Felisberto e Pascuoarelli (2001)

4.3. Programas de cálculo

- Dassault Systèmes SolidWorks™
- Microsoft Excel

5. Requisitos de Diseño

5.1. El exoesqueleto general

Como se mencionó con anterioridad, el diseño del torso forma parte de un proyecto mayor, abarcando todo un exoesqueleto que dote al usuario de capacidad suficiente para elevar y transportar cargas sin que se requiera esfuerzo muscular por parte del mismo. A estos efectos, se especifican a continuación las partes de dicho exoesqueleto, la integración de las diferentes partes con sus interfaces, sus medidas y sus limitaciones.

5.1.1. Partes del exoesqueleto

El exoesqueleto a diseñar consta de tres partes principales:

- Los brazos mecánicos, que serán los elementos que soporten directamente la carga, transmitiéndola al resto del exoesqueleto, con actuación externa para que el usuario únicamente se encargue del control de los movimientos, no debiendo efectuar esfuerzo alguno.
- Un torso, que se desplaza sobre la base y sirve de soporte a los brazos mecánicos, además de tener una función ergonómica. Este transmitirá los esfuerzos debidos a la carga soportada por los brazos a la base.
- Una base, que sustente los diferentes elementos así como al usuario, y que permita a éste desplazarse por el espacio de trabajo. Esta tendrá que soportar los esfuerzos transmitidos por la espalda.

Las figuras 5 y 6 muestran las diferentes partes en las que se ha dividido el exoesqueleto, resaltadas con diferentes colores. Así mismo, se indican aquellas partes donde fue esencial la colaboración de más de un subconjunto, en la tabla 1.

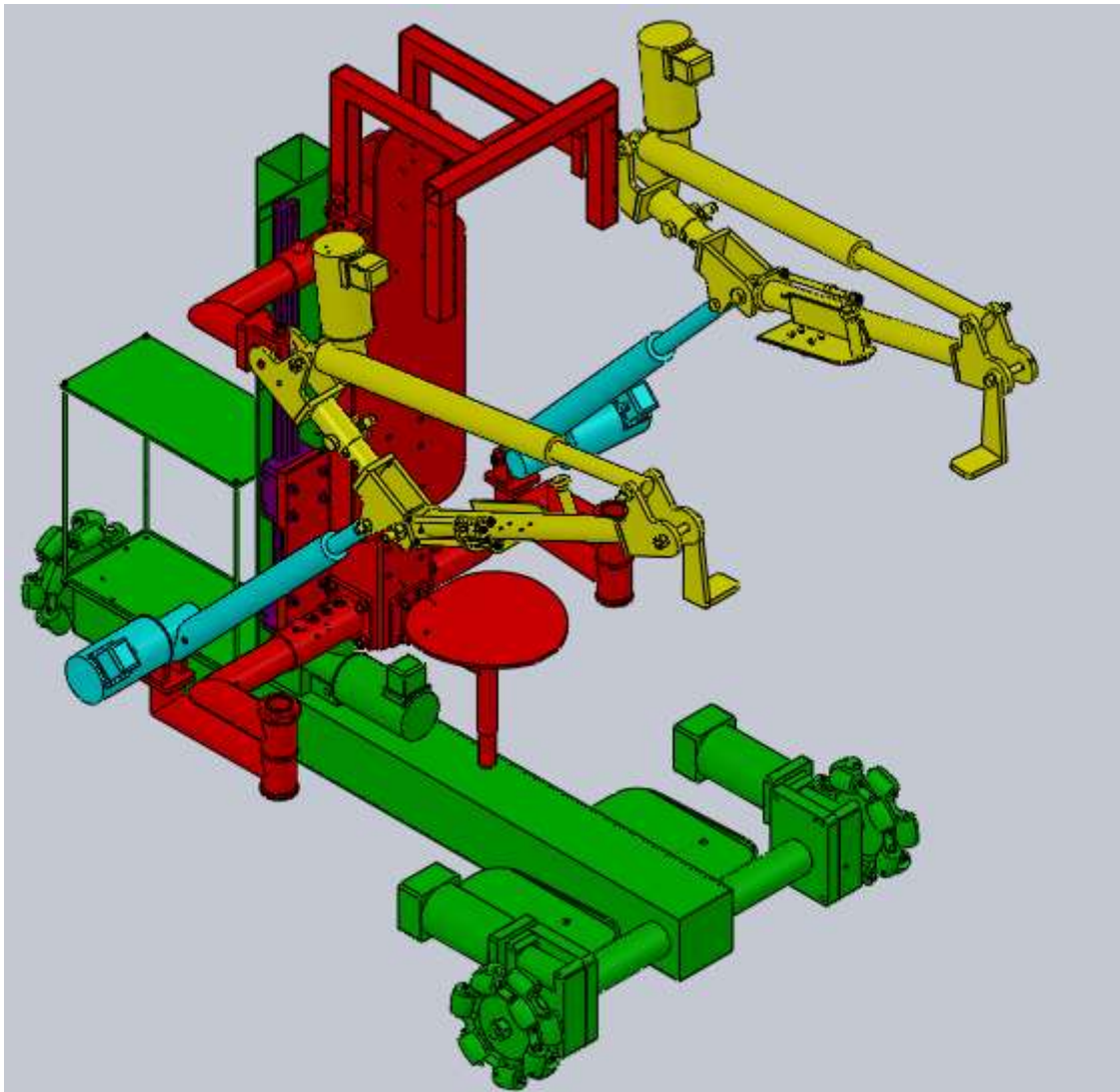


Figura 5. Subconjuntos en los que se divide el proyecto global. Perspectiva 1.

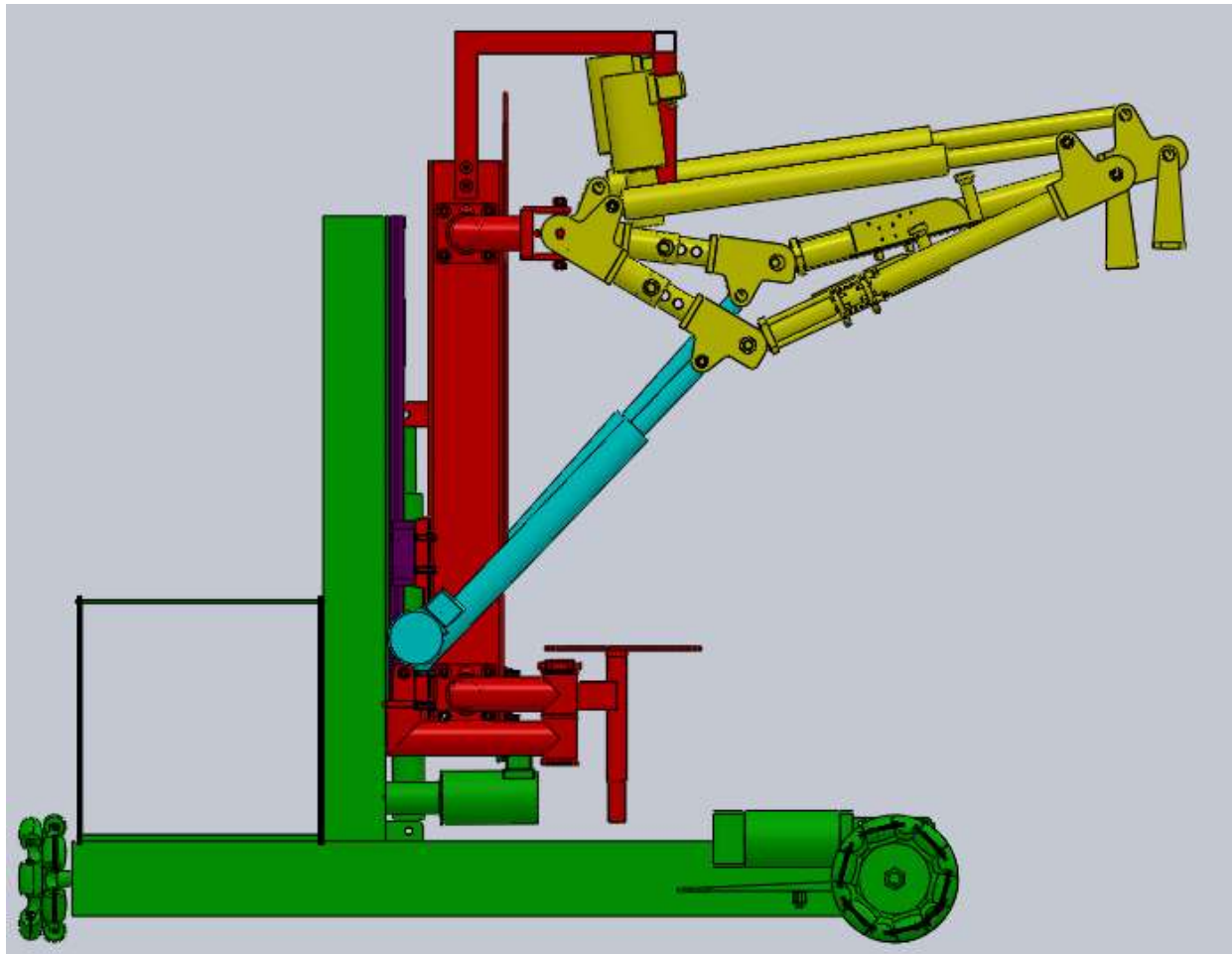


Figura 6. Subconjuntos en los que se divide el proyecto global. Perspectiva 2.

Color	Subconjunto
Amarillo	Subconjunto de los brazos
Rojo	Subconjunto de la espalda
Azul	Trabajo conjunto brazos y espalda
Verde	Subconjunto de la base
Violeta	Trabajo conjunto base y espalda

Tabla 1. Identificación de los diferentes subconjuntos y trabajos en conjunto.

5.2. Interfaces

Para poder llevar a cabo el diseño del exoesqueleto completo ha sido necesario un trabajo coordinado entre los diferentes equipos de trabajo, pues todos los subconjuntos guardan relación entre sí. De este modo, por ejemplo, las longitudes y movimientos de los brazos afectan a la estabilidad del conjunto, y la resistencia de los elementos de unión de la espalda limita la actuación de los brazos. Además, se producen interfaces entre los diferentes subconjuntos en la etapa de diseño, debiendo adoptar soluciones que satisfagan los requerimientos para ambos. Por ello, ha sido necesario establecer volúmenes de trabajo, disposición de los elementos y recorridos máximos y mínimos. Se han propuesto las siguientes interfaces entre los diferentes subconjuntos del exoesqueleto.

- Interfaz brazo-espalda. Se establece una interfaz de diseño en el hombro, elemento de conexión entre los brazos y la espalda. Para el hombro, ha sido necesario establecer la forma constructiva que permita una articulación del brazo. Se ha tenido en cuenta las dimensiones de los elementos del brazo, las de los actuadores, las medidas de la espalda y la resistencia de los elementos de la unión. Además, la conexión del actuador del brazo a la espalda ha requerido un análisis de las cargas que éste transmite a dichos elementos. Así mismo, la longitud de los brazos guarda relación con la regulación en altura de la espalda, a fin de que haya distancia suficiente para que el usuario recoja una caja desde el suelo. También las medidas de las orejas a las cuales se fija el actuador, para asegurar el suficiente espacio para su colocación.

Finalmente, teniendo en cuenta todos los factores condicionantes del diseño comentados, se ha solventado la responsabilidad del diseño del hombro en una división de elementos. Por un lado, el mecanismo que permite tanto la apertura y cierre como subida y bajada del brazo ha formado parte del presente proyecto. Por otro lado, el diseño del acople del brazo a este sistema ha recaído en el proyecto del diseño de los brazos mecánicos. Todo ello con la elaboración de un estudio de cargas y esfuerzos en la estructura coordinado conjuntamente pero ejecutado independientemente por cada grupo. De este modo se aseguraría la total corrección de los cálculos y una perfecta compatibilidad entre los elementos.

En la figura 7 se aprecia más concretamente la zona de interface entre ambos proyectos, resaltada en color.

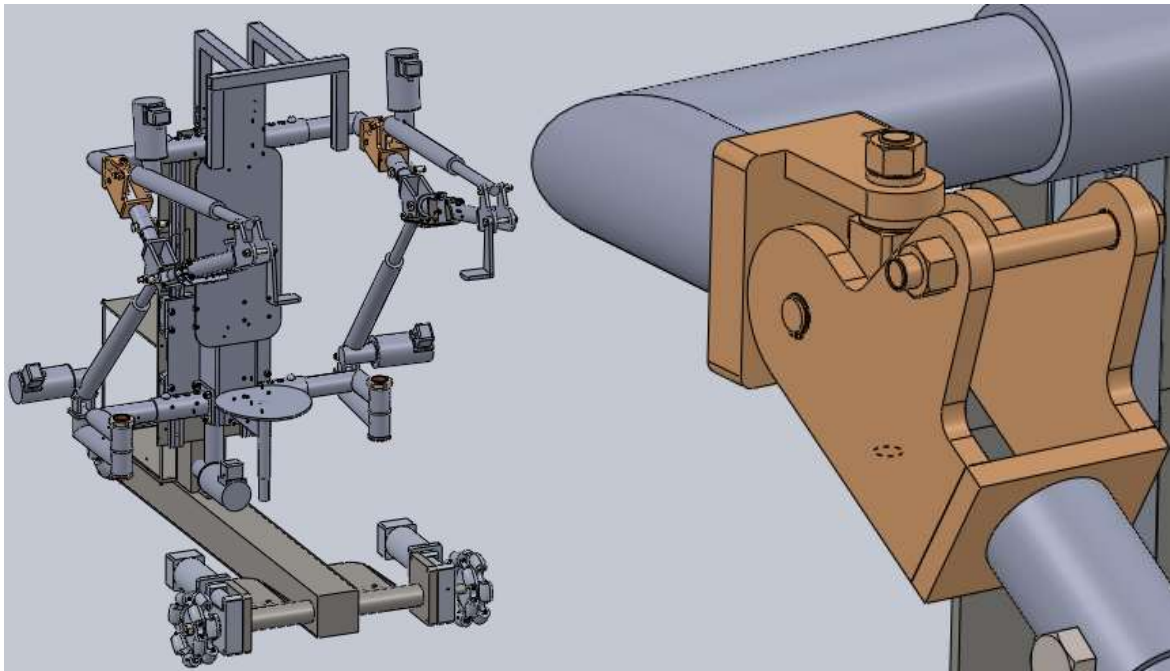


Figura 7. Interfaz brazo-espalda

- Interfaz espalda-base. Se establece una interfaz de diseño en los soportes deslizadores de las guías lineales, elementos de conexión entre la columna (correspondiente a la espalda) y la base. Para el diseño de estas, ha sido necesario establecer la forma constructiva para la cual cada uno de los elementos requeridos cumplan con la función para la que han sido destinados, sin interferir con el resto. Para ello, se han tenido en cuenta las dimensiones de los brazos, de la espalda, así como de la columna y de los actuadores a emplear en el diseño. Del mismo modo, se llevó a cabo la comprobación de la resistencia de los elementos de unión para verificar el diseño y los rangos de movimientos previstos para la dimensión máxima y mínima de la altura del exoesqueleto.

Para llevar a cabo la unión de ambas partes se ha recurrido a la versatilidad y sencillez que ofrecen una serie de guías lineales con sus respectivos soportes deslizantes. Estos últimos se unen a la espalda mediante tornillos de fijación a una chapa metálica solidaria a la espalda. Por otro lado, las guías lineales están unidas a un perfil vertical proveniente del chasis de la parte inferior del exoesqueleto. Es la unión de estas guías lineales con sus respectivos soportes deslizantes lo que realizan la unión física de la espalda con la base del exoesqueleto. El resto de la unión física de ambas partes, recae en el actuador encargado de suministrar el movimiento de elevación al

conjunto espalda-brazos. Este actuador está unido a la espalda mediante una oreja solidaria a esta y situada sobre los soportes deslizantes. En lo que respecta al diseño de cada parte se ha optado por un análisis conjunto entre ambos grupos de la viabilidad y resistencia de la opción de soportes deslizantes elegida. Por otro lado, el diseño de la oreja ha recaído en el presente proyecto, siendo las cuestiones referentes a la sujeción del actuador y las dimensiones del mismo parte del proyecto de la base.

En figura 8 se aprecia más concretamente las partes involucradas en el presente proyecto dentro del proyecto global del exoesqueleto, resaltadas en color.

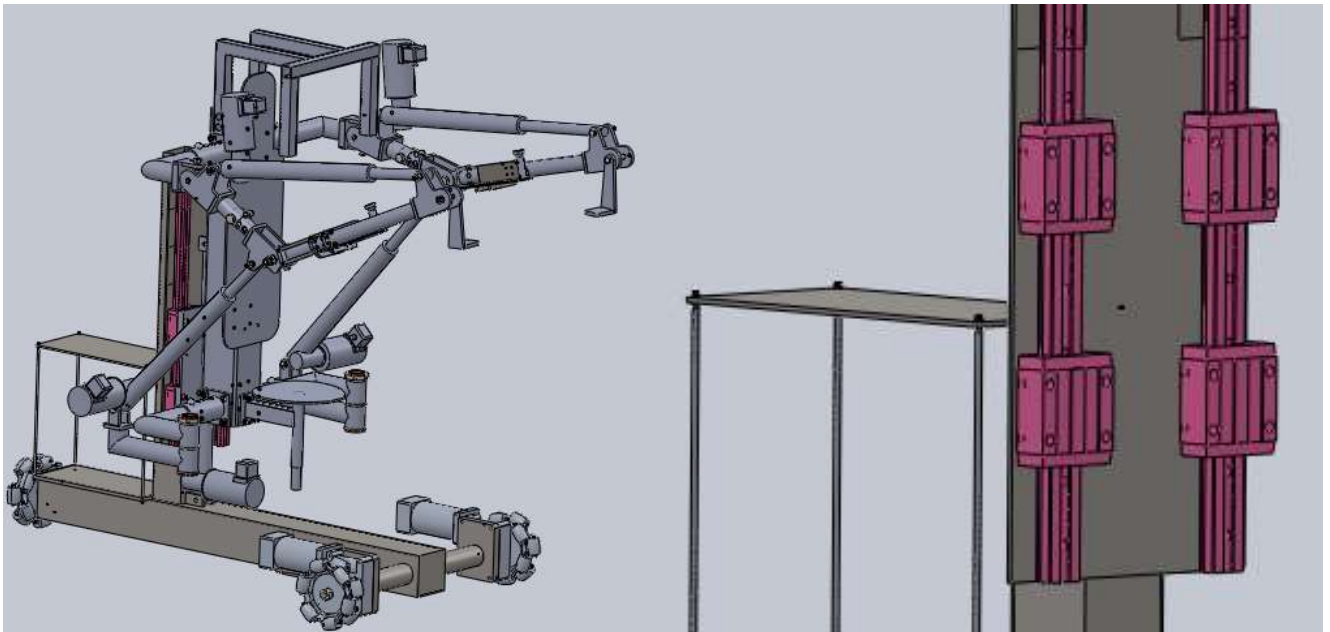


Figura 8. Interfaz espalda-base

- Interfaz brazo-base. No se establecen interfaces físicas entre ambos, puesto que los elementos englobados en cada subconjunto quedan interconectados siempre a través de la espalda. Sin embargo, se produce una interfaz en lo referente a las dimensiones de ambos subconjuntos. En el caso de los brazos, se debe satisfacer una longitud mínima que permita al usuario recoger una caja desde el suelo, determinada en cierta medida por las dimensiones de la base. En el caso de la base, sus dimensiones se ven afectadas por las medidas de los brazos y sus movimientos dado que debe garantizarse la estabilidad del conjunto en las situaciones más desfavorables.

Cabe destacar la relevante importancia que cobran los brazos indirectamente en el diseño de la base del exoesqueleto, puesto que para el estudio de estabilidad estructural, el movimiento de los brazos es determinante en el diseño.

Una vez determinadas todas estas interfaces entre los diferentes subconjuntos, se realiza un estudio de la compatibilidad de los diseños impuestos entre grupos para aunar medidas y asegurar la compatibilidad funcional del exoesqueleto, tal y como se ha mencionado anteriormente.

5.3. Antropometría

Para tener unas medidas iniciales de referencia para la determinación de los rangos de movimientos y las características geométricas generales del exoesqueleto, se realiza un estudio antropométrico de cada una de las partes del cuerpo humano relevantes para el diseño.

5.3.1. Brazos

A partir de las medidas antropométricas tomadas del libro “Manual de Antropometría Normal Patológica, Pablo Lapunzina & Horacio Aiello, Ed. Masson”, se establecen unos valores iniciales en lo que a dimensiones del brazo se refiere. Debe tenerse en cuenta que, para el libro seleccionado, se establecen las medidas hasta los 16 años de edad, la cual se entiende como el final del crecimiento normal en la población en general. Estos datos son recogidos en el libro a partir de diferentes autores. La tabla 2 muestra los valores de longitud del brazo, del antebrazo y de la mano para diferentes percentiles en hombres y mujeres.

Longitud del brazo B						
Edad	Mujeres			Hombres		
16 años	P5	P50	P95	P5	P50	P95
	27,8 cm	30,3 cm	33,5 cm	29,4 cm	32,8 cm	36,0 cm

Longitud del antebrazo A						
Edad	Mujeres			Hombres		
16 años	P5	P50	P95	P5	P50	P95
	20,7 cm	23,2 cm	25,7 cm	22,6 cm	25,4 cm	28,0 cm

Longitud de la mano M			
Edad	P3	P50	P97
16 años	16,5 cm	18,8 cm	21,2 cm

Tabla 2. Longitudes de brazo, antebrazo y mano para diferentes sexos. Fuente: Manual de Antropometría Normal Patológica, Pablo Lapunzina & Horacio Aiello, Ed. Masson

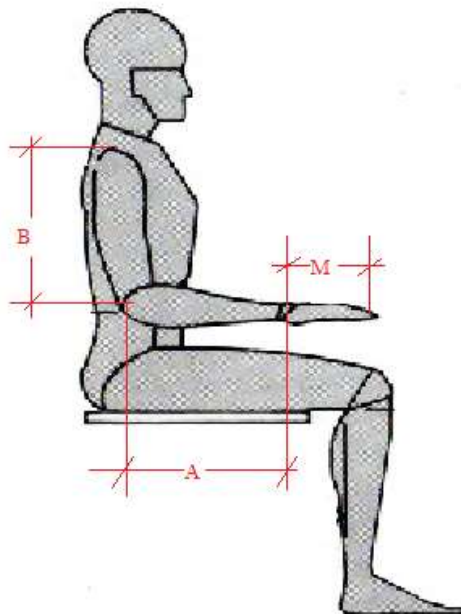


Figura 9. Ilustración de las diferentes partes de las que se compone un brazo.

De cara al diseño, resulta necesario establecer los valores adecuados. Dada la diferencia de las dimensiones entre hombres y mujeres, podría considerarse como extremos del intervalo de medidas para el diseño el percentil 5 de las mujeres como valor mínimo y el percentil 95 de los hombres como valor máximo. Así, la mayor parte

de la población quedaría cubierta dentro del rango. No obstante, estas medidas están limitadas también por aspectos constructivos. Así, en el caso del brazo, no se tomará como medida mínima el percentil 5 de las mujeres, sino 30 cm, por condiciones de instalación del actuador. Además, para el caso del antebrazo, se establece la medida máxima en 25 cm en lugar del percentil 95 de los hombres. Debe entenderse que la longitud real del antebrazo mecánico es mucho mayor que la del antebrazo del usuario, ya que se requiere mayor longitud por condiciones de recogida de la carga, con lo que es suficiente fijar esa distancia en 25 cm. La tabla 3 muestra los valores de diseño de las medidas antropométricas.

Medidas antropométricas de diseño		
	Dimensión mínima	Dimensión máxima
Longitud hombro-codo (brazo), B	30 cm	35 cm
Longitud codo-muñeca (antebrazo), A	20 cm	25 cm

Tabla 3. Medidas antropométricas de diseño para el brazo.

Entendiendo que la mayor parte de los usuarios están representados en el conjunto de valores especificado, se dimensionarán las diferentes partes del brazo mecánico de manera que sus longitudes puedan regularse entre estos valores y adecuarse a la medida del usuario.

Por tanto, el rango de medidas mínimo máximo tomados para el brazo del exoesqueleto, como anteriormente se ha mencionado, deberán ser superiores a las medidas antropométricas del usuario. La tabla 4 muestra los valores mínimo/máximo para el brazo del exoesqueleto.

Tipo de Medida	Valor Mínimo	Valor Máximo
Longitud del brazo (desde el eje del hombro hasta el punto de fijación de la pala)	95 cm	100 cm

Tabla 4. Dimensiones mínima y máxima del brazo de exoesqueleto.

La figura 10 muestra un esquema con el rango de medidas máxima y mínima.

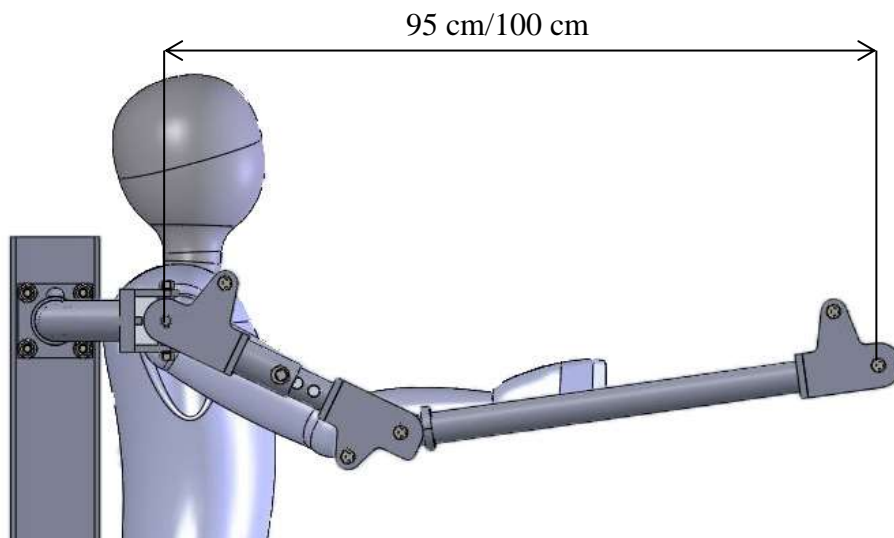


Figura 10. Ilustración de las dimensiones mínima y máxima del brazo del exoesqueleto.

Para mejorar la precisión, se añadió una medida adicional en la zona del húmero. Se constaría entonces de 2 posiciones extremas (una mínima y otra máxima) y una posición intermedia, cada una de ellas a 2,5 cm de la otra. La tabla 5 muestra los valores de longitud del brazo para las diferentes posiciones.

Número de Posición	Longitud del brazo
Posición 1	95 cm
Posición 2	97,5 cm
Posición 3	100 cm

Tabla 5. Diferentes posiciones de regulación del brazo del exoesqueleto.

5.3.2. Torso

5.3.2.1. Anchura espalda

En lo que respecta a las medidas dadas para los componentes del torso, estas se basaron en las medidas de adultos a partir de una edad en la que se considera que la estructura esquelética no continuará desarrollándose en exceso y que se pueden considerar más generalizadas.

A partir de las medidas antropométricas para la población dadas en el libro “Manual de Antropometría Normal Patológica, Pablo Lapunzina & Horacio Aiello, Ed. Masson”, se estudiaron los valores dados para medidas de longitud biacromial tanto en hombres como mujeres, con el objetivo de especificar el rango mínimo/máximo que podría tener el usuario, para posteriormente establecer el rango de medidas en el exoesqueleto. Se tomaron para este caso las medidas para varones y mujeres a una edad de 19 años, la cual el libro considera como final en lo que a crecimiento normal en la población se refiere. La tabla 6 muestra los valores dados de anchura de espalda biacromial para varones y mujeres de 19 años de edad en diferentes percentiles.

Distancia biacromial						
Edad	Mujeres			Hombres		
19 años	P3	P50	P97	P3	P50	P97
	34 cm	37 cm	40 cm	36,4 cm	39,9 cm	43,4 cm

Tabla 6. Distancia biacromial para los diferentes sexos. Fuente: Manual de Antropometría Normal Patológica, Pablo Lapunzina & Horacio Aiello, Ed. Masson

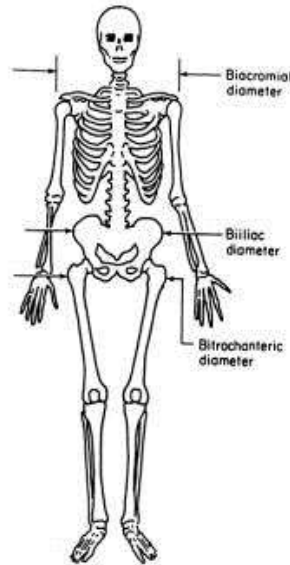


Figura 11. Ilustración de la distancia biacromial.

En este caso, se tomará como medida mínima de diseño la correspondiente al percentil 3 de las mujeres. Como medida máxima, previendo un posible incremento de esta distancia se tomará un valor máximo de distancia biacromial de 50 cm, y no el percentil 95 de los hombres. Con esto, se contiene en el mismo rango a la mayoría de la población. De este modo, la medida mínima de distancia biacromial será de 34 cm, y la medida máxima será de 50 cm. La tabla 7 muestra el rango de valores máximo/mínimo tomado.

Medidas antropométricas de diseño		
	Dimensión mínima	Dimensión máxima
Distancia biacromial	34 cm	50 cm

Tabla 7. Medidas antropométricas de diseño para la distancia biacromial.

A pesar de estas son las medidas que caracterizan a la mayoría de la población, y con el objetivo de que el exoesqueleto pueda ser utilizado por operarios con unas dimensiones de espalda superiores a las dadas, se ha decidido dar una mayor holgura en lo que a distancia biacromial en el exoesqueleto se refiere. Así mismo, esta holgura viene justificada por la no inclusión del ancho de los deltoides en la medida biacromial

(conocida como medida bideltoide). Su no inclusión se debe principalmente a la falta de información en lo que a esta medida se refiere en los libros especializados.

Por ello, se planteó un rango de valores mínimo/máximo en lo que a distancia biacromial del exoesqueleto se refiere, comprendido en los valores dados en la tabla 8. Gracias a ello, el exoesqueleto podrá ser empleado por personas que no sobrepasen el valor mínimo impuesto y aquellas que sobrepasen el máximo a su vez.

Tipo de Medida	Valor Mínimo	Valor Máximo
Biacromial	57,5 cm	75,5 cm

Tabla 8. Dimensiones mínima y máxima de distancia biacromial del exoesqueleto.

La figura 12 muestra un esquema con el rango de medidas.

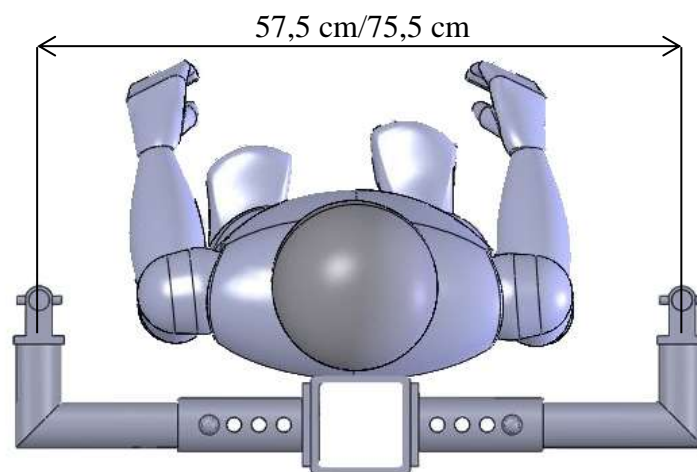


Figura 12. Ilustraciones de las dimensiones mínima y máxima del exoesqueleto.

Esto implica que la espalda, dado que debe de ser capaz de abarcar el rango especificado, deberá ser extensible. En concreto, se ha decidido que, para que la regulación sea más precisa, la anchura de la espalda variará cada 6 centímetros. La tabla 9 muestra los valores de distancia biacromial para las diferentes posiciones.

Número de Posición	Anchura biacromial
Posición 1	57,5 cm
Posición 2	63,5 cm
Posición 3	69,5 cm
Posición 4	75,5 cm

Tabla 9. Diferentes posiciones de regulación de la distancia biacromial del exoesqueleto.

Dado que la circunferencia que define el diámetro biacromial tanto del exoesqueleto como el del operario deben de ser aproximadamente concéntricas, el eje del hombro correspondiente al exoesqueleto debe de situarse aproximadamente a la misma distancia que el eje del hombro del usuario. Para definir este parámetro, se ha tomado que la distancia desde el punto de apoyo de la espalda hasta el mencionado eje será de 9 cm, no teniendo en cuenta el posible almohadillado que se pueda colocar. La figura 13 muestra la distancia aproximada tomada.

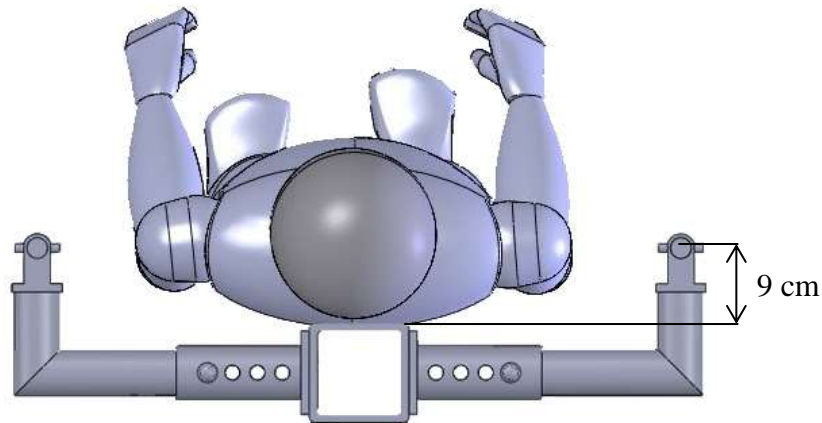


Figura 13. Ilustración de la distancia desde el eje del hombro del exoesqueleto hasta la columna.

5.3.2.2. Altura de espalda

Al igual que para el caso de la determinación del rango característico de la anchura de espalda, se ha obtenido el rango de medidas de la altura de ésta. En este caso, dado que el libro anteriormente citado no muestra un rango de valores de altura de espalda desde la base de esta hasta los hombros, se tomaron los rangos de medidas mínima y máxima a partir del libro de medidas antropométricas “Felisberto e Pascuoarelli (2001)”. Se ha recurrido a este libro ya que dispone de la medición de la altura de la espalda de una persona sentada, tomando como referencia la base de un asiento y llegando hasta el hombro del individuo. Puesto que el operario estará en esta posición la mayor parte del tiempo de trabajo, se toman estas medidas como determinantes en la altura de la espalda.

La tabla 10 muestra los valores de altura de espalda tomados para hombres y mujeres para diferentes percentiles.

Altura desde la base de la espalda hasta los hombros, 05					
Hombres			Mujeres		
P05	P50	P95	P05	P50	P95
54 cm	58 cm	63 cm	46 cm	54 cm	59 cm

Tabla 10. Altura desde la base de la espalda hasta los hombros para los diferentes sexos.

Fuente: Felisberto e Pascuoarelli (2001)

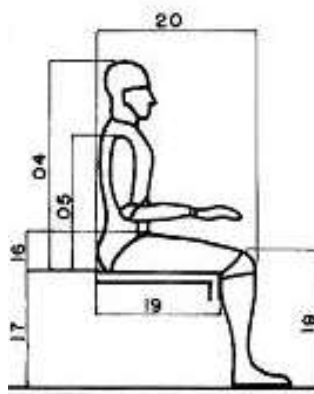


Figura 14. Ilustración de las diferentes medidas antropométricas.

Del mismo modo que en apartados anteriores, se toma el valor mínimo de altura como el correspondiente al percentil 5 de las mujeres y el máximo como el correspondiente al percentil 95 de los hombres. De este modo, se abarca a la mayor parte de la población. Para este caso, estos serán los valores de diseño antropométricos, mostrados en la tabla 11.

Medidas antropométricas de diseño		
	Dimensión mínima	Dimensión máxima
Altura de la espalda	46 cm	63 cm

Tabla 11. Medidas antropométricas de diseño para la altura de la espalda.

Tomando como base estas dos medidas y las limitaciones físicas impuestas por el diseño del exoesqueleto en lo que se refiere a interferencias con otras piezas de la parte inferior de éste, y con el objetivo de añadir una mayor holgura a las dimensiones del usuario anteriormente expuestas, se toman las siguientes medidas mínima/máxima para la altura de la espalda del exoesqueleto, mostradas en la tabla 12.

Tipo de Medida	Valor Mínimo	Valor Máximo
Altura espalda	46 cm	66 cm

Tabla 12. Dimensiones mínima y máxima de altura de la espalda del exoesqueleto.

Estos valores son las medidas nominales del diseño desde la base metálica del asiento hasta el punto medio de referencia del hombro. A estas medidas se le tiene que añadir un margen de 2-5 cm correspondientes al espesor del acabado superior acolchado del asiento, contribuyendo así a su ergonomía y comodidad. Este espesor no es exacto ya que depende del material seleccionado para esta función.

La modificación de altura de la espalda se realizará mediante la regulación de altura del asiento del operario. Al contar con una abrazadera de presión como sujeción del asiento, de similar mecanismo al de regulación de altura del sillín de una bicicleta, se permite una regulación exacta a la deseada por el operario, siempre dentro de las

medidas máximas y mínimas estipuladas. La figura 15 muestra un esquema con el rango de medidas dado.

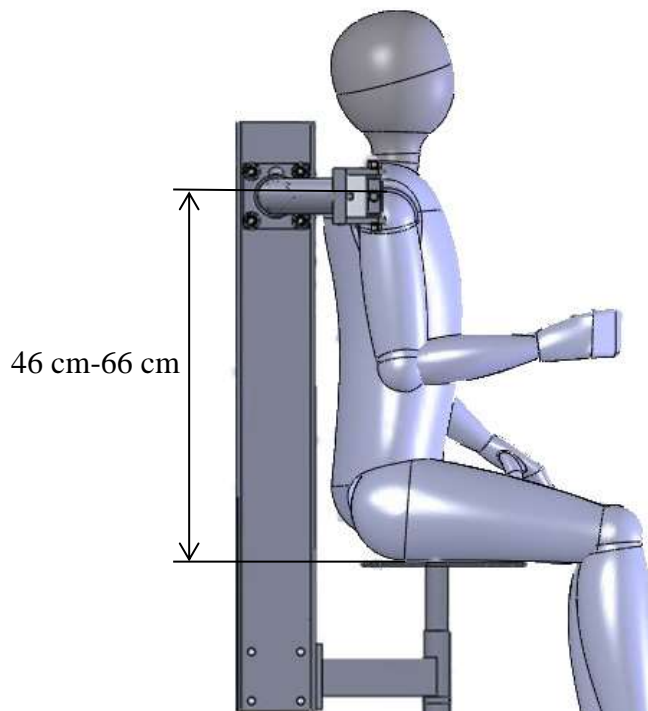
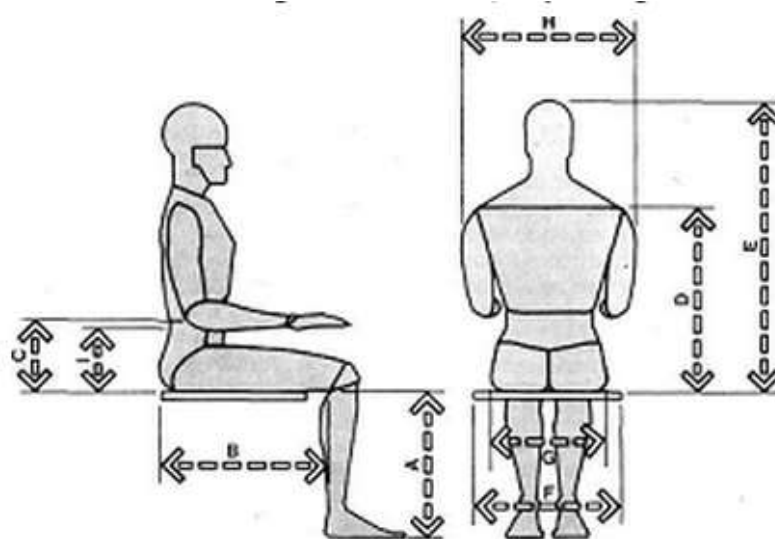


Figura 15. Ilustración de las dimensiones mínima y máxima de la altura de la espalda del exoesqueleto.

5.3.2.3. Dimensiones del asiento del exoesqueleto

Las dimensiones del asiento del exoesqueleto se han visto condicionadas básicamente por la comodidad y ergonomía del operario. Al tratarse de un asiento con el desempeño de una función de asiento-apoyo dependiendo de la posición de altura en la que se encuentre, se tendrán en cuenta las medidas antropométricas estándares para asientos comunes y una serie de imposiciones que se detallan más adelante.

Respecto a las medidas antropométricas, se toman como referencia las medidas tomadas de la tabla mostrada en la figura 16.



dimensiones fundamentales para diseñar sillas

MEDIDA	HOMBRES				MUJERES			
	Percentil 5		Percentil 95		Percentil 5		Percentil 95	
	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm
A Altura poplitea	15.5	39.4	19.3	49.0	14.0	35.6	17.5	44.5
B Largura nalga-popliteo	17.3	43.9	21.6	54.9	17.0	43.2	21.0	53.3
C Altura codo reposo	7.4	18.8	11.6	29.5	7.1	18.0	11.0	27.9
D Altura hombro	21.0	53.3	25.0	63.5	18.0	45.7	25.0	63.5
E Altura sentado, normal	31.6	80.3	36.6	93.0	29.6	75.2	34.7	88.1
F Anchura codo-codo	13.7	34.8	19.9	50.5	12.3	31.2	19.3	49.0
G Anchura caderas	12.2	31.0	15.9	40.4	12.3	31.2	17.1	43.4
H Anchura hombros	17.0	43.2	19.0	48.3	15.0	38.0	19.0	48.3

Figura 16. Medidas antropométricas para diferentes sexos. Fuente:

<http://mueblesdomoticos.blogspot.com.es/2010/12/medidas-para-disenar-sillas-o-asientos.html>

Siendo la altura del asiento adaptable al usuario, la medida más relevante para el diseño es la medida de anchura de caderas G, siendo de 43.4 cm para el percentil 95 del conjunto de mujeres, el cual representa el caso más desfavorable para el diseño. De cara al diseño se tomará 40 cm de anchura de cadera, puesto que al tratarse de medidas humanas, las pequeñas variaciones no tienen ningún tipo de relevancia.

En base a estudios sobre la mecánica del sistema de apoyo del cuerpo humano y la estructura ósea general en la situación de tomar asiento, el 75% del peso del cuerpo recae sobre una pequeña superficie de 26 cm² situada bajo las tuberosidades isquiáticas, las cuales son la parte de la pelvis sobre las que se apoya el cuerpo al sentarse, tal y como se muestra en la figura 17 de la distribución del peso al tomar asiento.

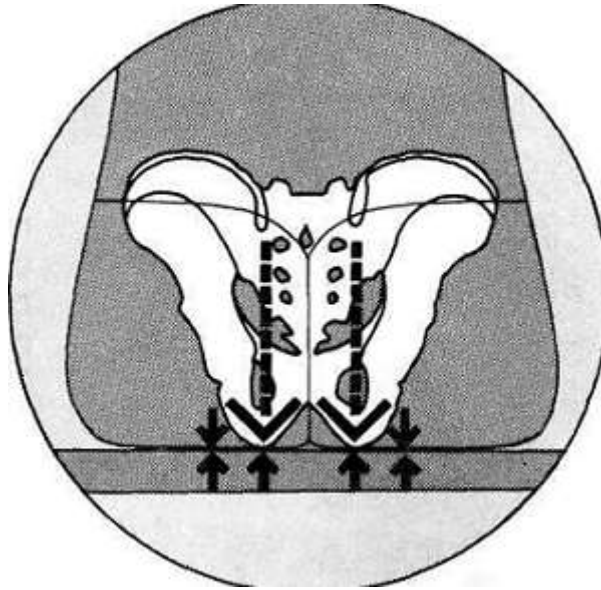


Figura 17. Distribución del peso al tomar asiento.

Teniendo en cuenta el manejo de cargas a diferentes alturas con el exoesqueleto, esto implica que el operario tendrá que encontrarse tanto sentado como semi-erguido en determinantes momentos de su jornada laboral. Este hecho condiciona el diseño del asiento, puesto que en la posición más alta, correspondiente al operario en la posición semi-erguida, el asiento solo cumplirá la función de apoyo para el usuario. Esto implica a su vez que la profundidad del asiento debe de ser reducida para evitar cualquier tipo de incomodidad en esta posición, no olvidando la ergonomía y comodidad del mismo para la posición en el que el operario está sentado.

Debido a la ausencia en el mercado de asientos con propósitos similares al presente en el diseño, se ha realizado una toma de medidas preliminares con los integrantes del grupo para determinar una profundidad de asiento que satisfaga las condiciones impuestas.

La profundidad escogida es de 25 cm. Esta permite una relativa comodidad en el apoyo de los glúteos cuando el exoesqueleto se encuentra en su posición más alta respecto al suelo, y una situación cómoda al sentarse el operario. Su forma se rige por los fundamentos de la ergonomía de asientos en los que el usuario se encuentre en un estado de constante movimiento de trabajo, siempre dentro de los límites impuestos por cuestiones de seguridad en el uso del exoesqueleto.

La forma del asiento con sus medidas en mm se ilustra en la figura 18.

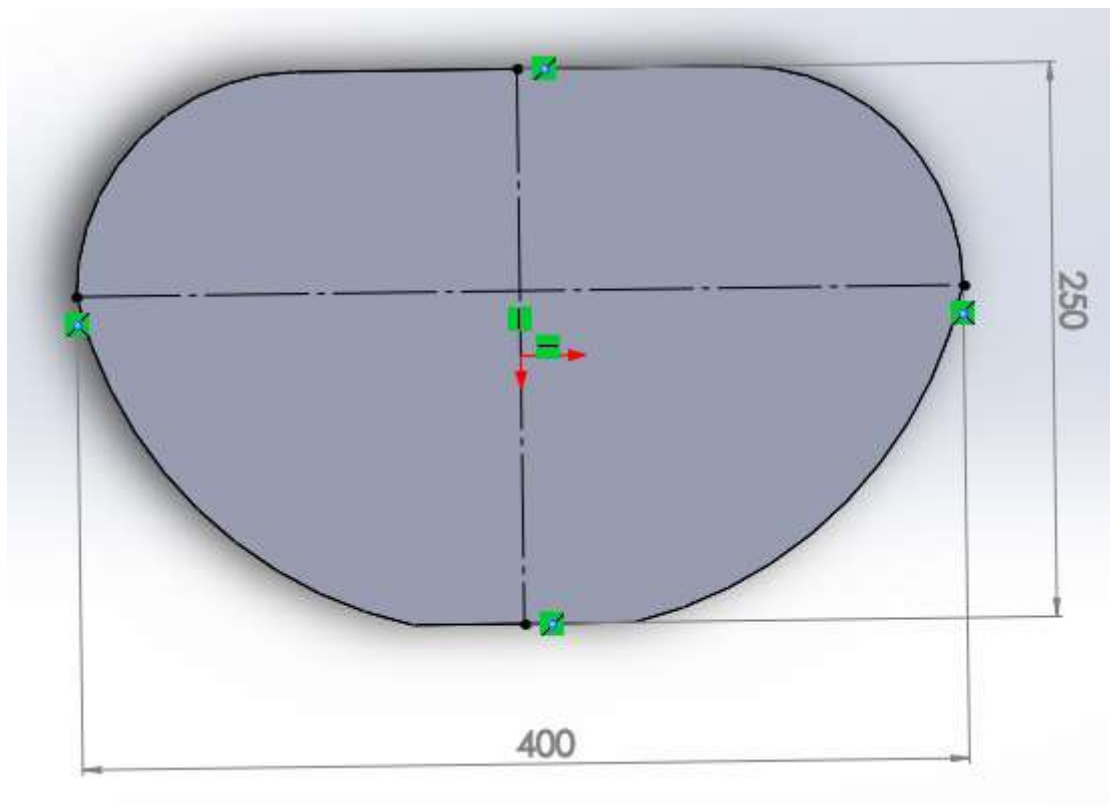


Figura 18. Dimensiones del asiento del exoesqueleto.

En cuanto a la localización de este asiento respecto al apoyo de la espalda del operario, al igual que en estudios antropométricos de componentes anteriormente comentados, se ha realizado un análisis con los integrantes del grupo.

En este análisis se ha tenido en cuenta principalmente la prominencia de la zona de las nalgas, la cual se excede hacia el apoyo de la espalda, la cual se puede apreciar en la figura 19.

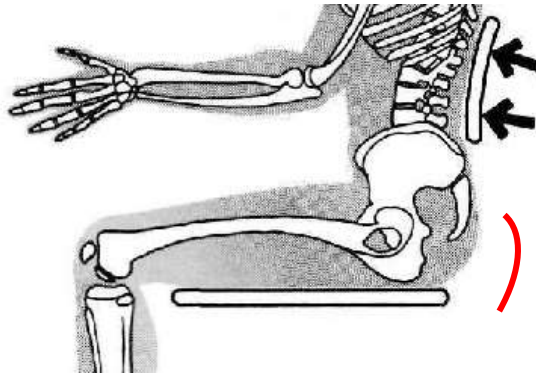


Figura 19. Ilustración de la prominencia de las nalgas.

Además, se contempla el espesor del futuro material acolchado que dispondrá el apoyo de la espalda para el uso del exoesqueleto. Por lo tanto se ha dispuesto de una distancia de 4,5 cm para contemplar las condiciones expuestas. En la figura 20 se observa la disposición comentada.

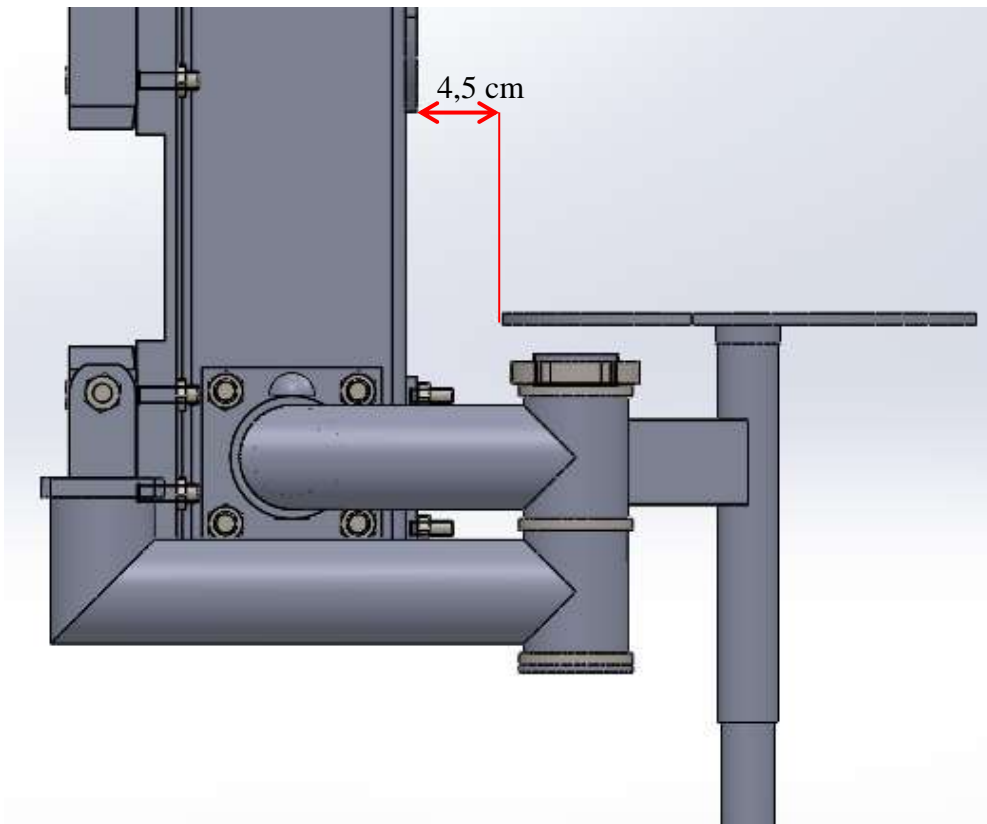


Figura 20. Distancia entre el perfil de la columna y el asiento del exoesqueleto.

5.3.2.4. Dimensiones del apoyo de la espalda

El apoyo de la espalda en cualquier asiento común tiene como función esencial dotar de apoyo a la región lumbar. La configuración de este buscará recoger el perfil espinal, singularmente en la zona lumbar y evitará un acoplamiento completo que impida cambiar la posición del cuerpo.

En base a las condiciones impuestas y a la ausencia de datos concretos sobre patrones a seguir en cuanto a medidas se refiere, se han determinado unas medidas del apoyo a partir de medidas obtenidas sobre las dimensiones antropométricas de los integrantes del grupo, previendo posibles casos desfavorables de determinados operarios. Estas medidas se muestran en la figura 21.

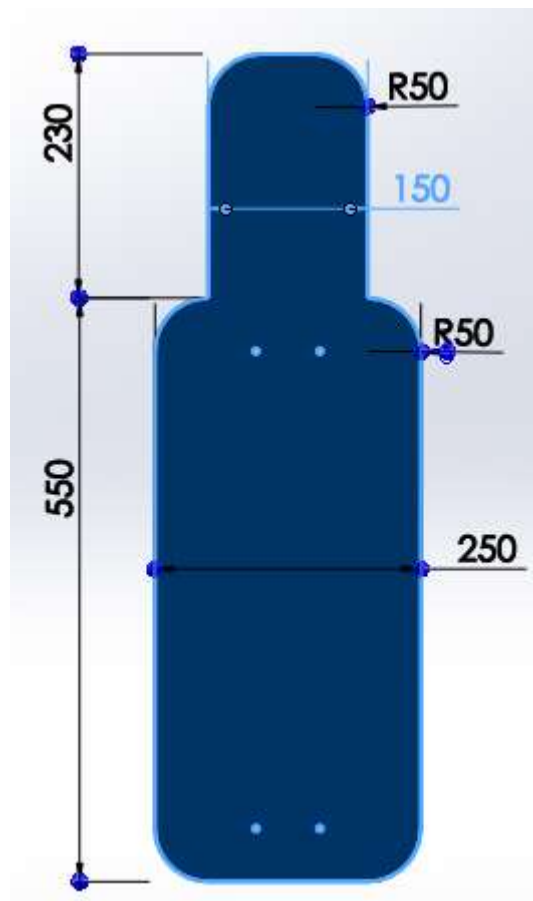


Figura 21. Dimensiones del respaldar de la columna.

Las medidas en mm mostradas permiten un apoyo suficiente del operario, aportándole comodidad y sensación de estabilidad, todo ello contribuyendo a su comodidad y ergonomía. Tanto el apoyo de la espalda como de la cabeza conforman una única pieza.

Para la determinación de la altura máxima desde el sillín hasta el apoyo de la cabeza, se ha recurrido a la medida de la altura sentado normal correspondiente a la letra E de la tabla usada anteriormente, esta vez mostrada en la figura 22.

MEDIDA	HOMBRES				MUJERES			
	Percentil		Percentil		Percentil		Percentil	
	5	95	5	95	5	95	5	95
	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm	pulg.	cm
A Altura poplitea	15.5	39.4	19.3	49.0	14.0	35.6	17.5	44.5
B Largura nalga-popliteo	17.3	43.9	21.6	54.9	17.0	43.2	21.0	53.3
C Altura codo reposo	7.4	18.8	11.6	29.5	7.1	18.0	11.0	27.9
D Altura hombro	21.0	53.3	25.0	63.5	18.0	45.7	25.0	63.5
E Altura sentado, normal	31.6	80.3	36.6	93.0	29.6	75.2	34.7	88.1
F Anchura codo-codo	13.7	34.8	19.9	50.5	12.3	31.2	19.3	49.0
G Anchura caderas	12.2	31.0	15.9	40.4	12.3	31.2	17.1	43.4
H Anchura hombros	17.0	43.2	19.0	48.3	13.0	33.0	19.0	48.3

Figura 22. Altura para los diferentes sexos sentado.

Considerando el percentil 95 del conjunto de hombres como caso más desfavorable con 93 cm de altura, y tomando como apoyo de la cabeza un punto 4 cm por debajo de la zona superior de la misma, se ha determinado una altura máxima permisible por el exoesqueleto de 89 cm, tomando de referencia la mínima altura del asiento. La medida se observa en la figura 23.

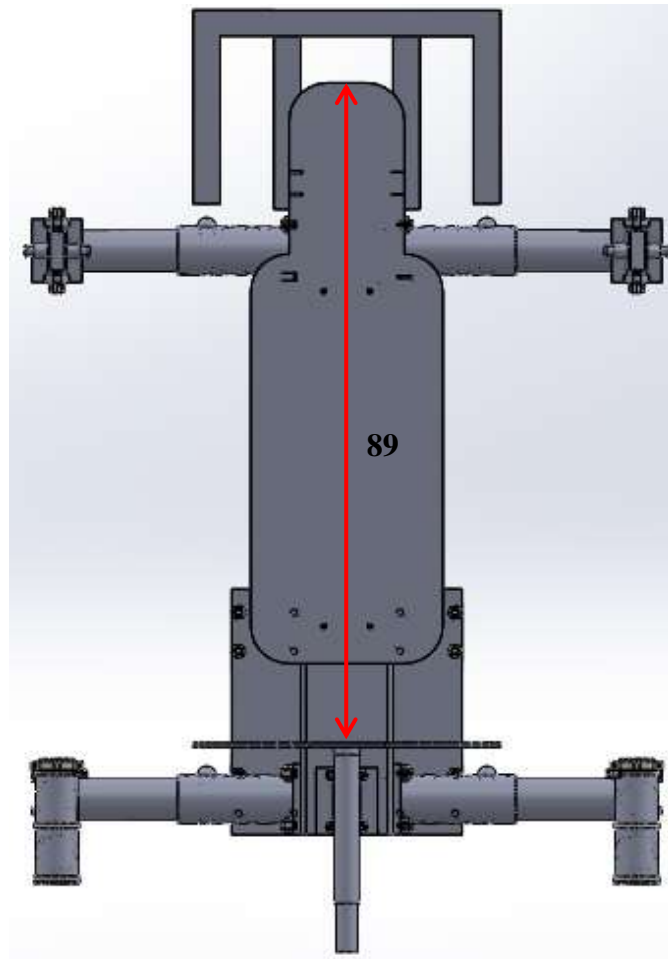


Figura 23. Distancia máxima entre el asiento y el extremo superior del respaldo del exoesqueleto.

Junto a este apoyo, el material acolchado dispuesto en el apoyo de la espalda cumpliría la función de adaptabilidad a la curvatura espinal del usuario hasta unos determinados límites admisibles por el proyecto, permitiendo siempre el libre movimiento para la acomodación del operario.

5.3.2.5. Dimensiones estructura de seguridad

La función de la estructura de seguridad instalada en la zona superior del exoesqueleto es esencialmente proteger al operario frente a cualquier tipo de impacto producido por la caída de cualquier tipo de carga.

Partiendo del principio fundamental comentado, la estructura de seguridad también tiene que ser versátil y cómoda, de manera que no produzca ningún tipo de sensación de aprisionamiento o confinamiento al operario ni interfiera en la visión del mismo.

Se recurre nuevamente a las medidas antropométricas expuestas en el libro para este fin de “Felisberto e Paschoarelli (2001)”, en el cual se toman las medidas base para la definición de las medidas de la estructura, mostradas en la tabla 13.

Altura desde el asiento hasta la cabeza, 04					
Hombres			Mujeres		
P5	P50	P95	P5	P50	P95
82 cm	88 cm	93 cm	76 cm	83 cm	89 cm
Altura de la cabeza a partir del mentón, 23					
Hombres			Mujeres		
P5	P50	P95	P5	P50	P95
21 cm	23 cm	24 cm	19 cm	22 cm	24 cm
Anchura de la cabeza, 24					
Hombres			Mujeres		
P5	P50	P95	P5	P50	P95
17 cm	18 cm	19 cm	14 cm	15 cm	16 cm
Profundidad de la cabeza, 25					
Hombres			Mujeres		
P5	P50	P95	P5	P50	P95
18 cm	19 cm	20 cm	16 cm	18 cm	19 cm

Tabla 13. Medidas antropométricas de referencia para la cabeza. Fuente: Felisberto e Paschoarelli (2001)

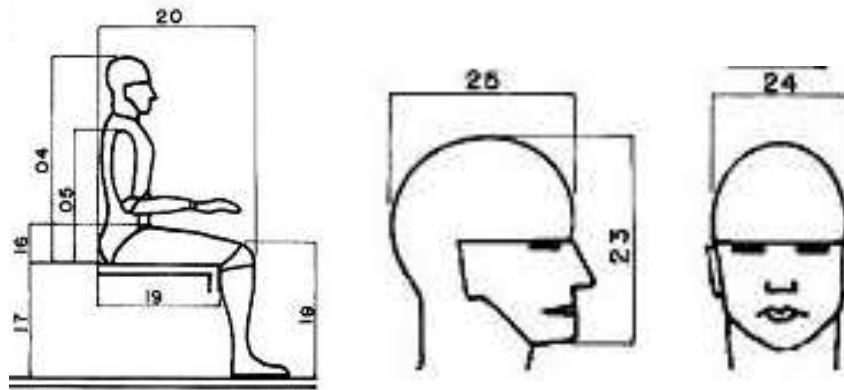


Figura 24. Ilustración de las diferentes medidas de la cabeza y el cuerpo.

Las medidas utilizadas en este apartado serán las correspondientes al ancho, alto y profundidad de la cabeza, al igual que la altura de esta respecto de un asiento. Se tomarán las medidas más desfavorables para el diseño, con las que el exoesqueleto se encuentre ante la persona con las mayores dimensiones posibles. Este caso se encuentra en el percentil 95 del conjunto de hombres ya que muestra las mayores dimensiones.

En base a estas medidas se ha simulado el volumen de una cabeza humana en un cubo tridimensional para visualizar las dimensiones del mismo en el conjunto del ensamble y así evaluar las posibles sensaciones del operario. Esta visualización se muestra en la figura 25.

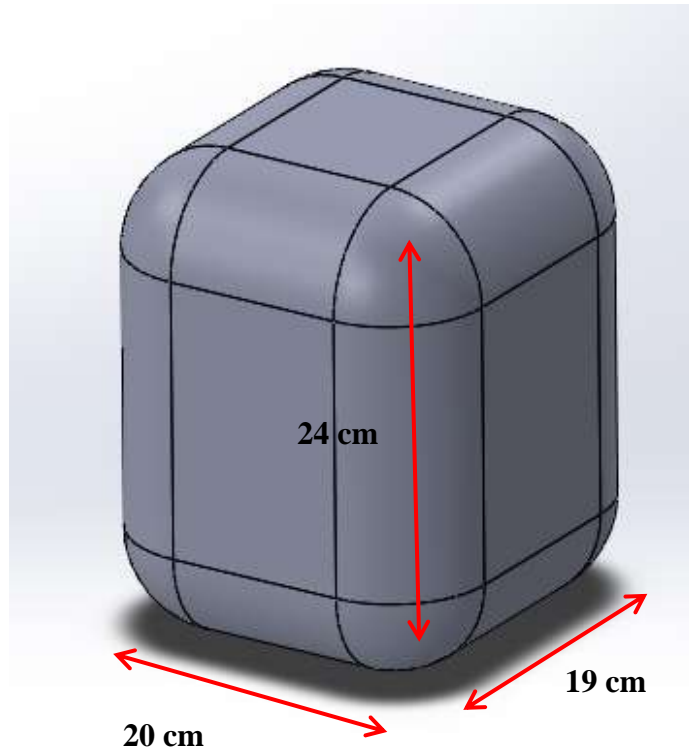


Figura 25. Dimensiones de una cabeza humana.

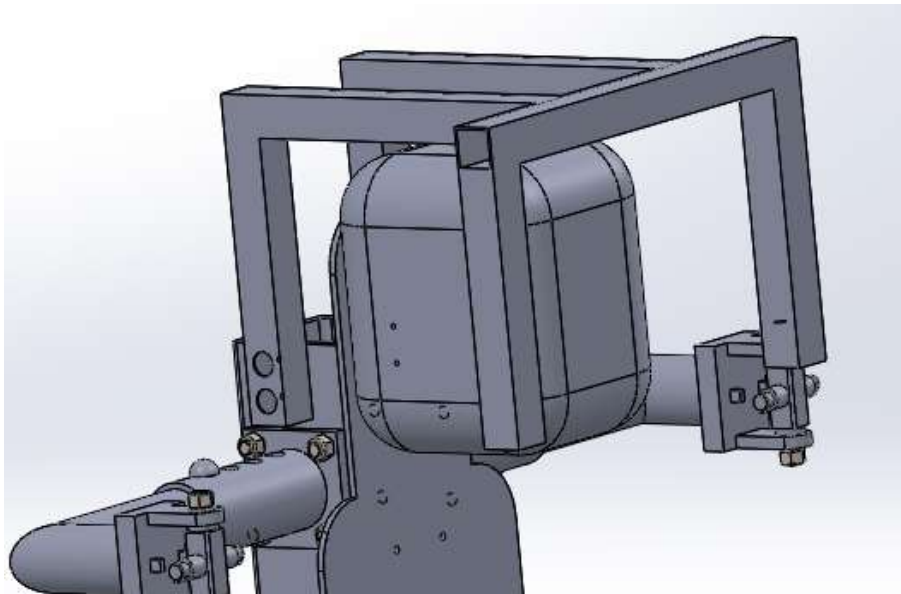


Figura 26. Cabeza humana en el interior de la estructura de seguridad.

El cubo se localiza a 93 cm respecto la base del asiento, contemplando de este modo la altura del operario más desfavorable correspondiente a la medida 04 de la figura 24.

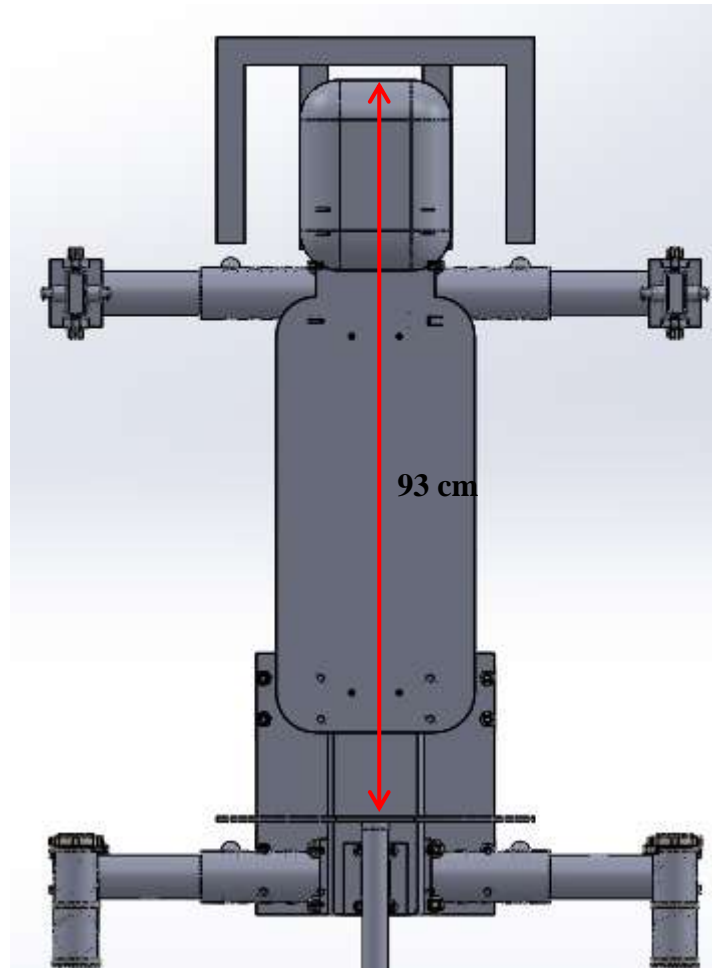


Figura 27. Distancia máxima entre el asiento y la zona superior de la cabeza.

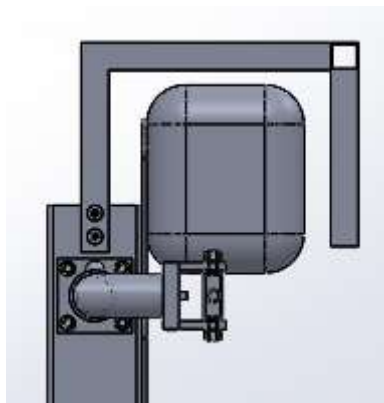


Figura 28. Situación de la cabeza con respecto al respaldar.

Observando estas disposiciones, se considera que las dimensiones de las estructura de seguridad aportan suficiente comodidad y versatilidad al usuario, permitiéndole un libre movimiento y una visión sin obstáculos. Todo ello cumpliendo el propósito

principal de protección al operario frente el riesgo de caída de cargas proveniente de la subida de cargas con los brazos del exoesqueleto.

Además, nótese que al ser el caso ilustrado el más desfavorable, para la mayoría de los posibles operarios del exoesqueleto, estas dimensiones serán más que suficientes aportando aún más confort y espacio.

5.3.3. Base

5.3.3.1. Dimensiones del tren inferior

En este caso, y al igual que en apartados anteriores, las tablas del libro “*Felisberto e Pascuoarelli (2001)*” proporcionan todas las medidas necesarias:

- Distancia entre glúteo y rodillas (bíceps femoral):

Siguiendo la tónica de las consideraciones anteriores, el exoesqueleto debe poder ser utilizado por individuos de cualquier complexión y altura. Por esto, la distancia desde la parte trasera del asiento hasta los reposapiés debe ser de entre 42 y 53 cm aproximadamente.

FAAC / UNESP / BAURU	Homens			Mulheres		
	% 05	% 50	% 95	% 05	% 50	% 95
19 Dimensões dos Segmentos Corpóreos Humanos						
19 Distância Nádega – Poplítea	43	48	53	42	47	52

Figura 29. Distancia entre glúteo y rodillas. Fuente: Felisberto e Pascuoarelli (2001).

Tipo de Medida	Valor Mínimo	Valor Máximo
Distancia entre glúteo y rodilla	42 cm	53 cm

Tabla 14. Rango dimensional de diseño entre glúteo y rodilla.

- Anchura de la cadera:

Teniendo en cuenta el confort del usuario, y en términos de ergonomía y funcionalidad, se tuvo en cuenta la distancia entre los pies. El usuario del exoesqueleto pasará gran parte de su jornada con los pies en la misma posición, por ello ésta deberá ser lo más cómoda y natural posible.

De acuerdo con lo anterior, se optó por una posición tal que tobillo, rodilla y coxofemoral (cadera) quedasen en el mismo plano vertical. Para el diseño se utilizó la medida de anchura de la cadera según “Felisberto e Pascuoarelli (2001)”.

FAAC / UNESP / BAURU Dimensões dos Segmentos Corpóreos Humanos	Homens			Mulheres		
	% 05	% 50	% 95	% 05	% 50	% 95
21 Largura do Quadril	30	34	38	31	36	41

Figura 30. Dimensiones de ancho de cadera para ambos sexos. Fuente: “Felisberto e Pascuoarelli (2001)”.

Dado que el rango de medidas va desde 31 cm, para el percentil 5 de mujeres, hasta 41 cm, correspondiente al percentil 95 de mujeres, se convinieron las siguientes medidas:

Tipo de Medida	Valor Mínimo	Valor Máximo
Anchura de la cadera	31 cm	41 cm

Tabla 15. Rango dimensional de la anchura de la cadera.

En el primer diseño del exoesqueleto no contaba con reposapiés, por tanto la magnitud tratada anteriormente no tiene mayor importancia. Sin embargo, a partir del segundo diseño se incluyen reposapiés.

Para garantizar que todo el espectro dimensional se vea contemplado, se decidió que dichos reposapiés vayan desde 14 cm respecto a la vertical del cuerpo hasta 48 cm. De esta forma, se posibilita la acción de cambiar ligeramente la posición de los pies durante el uso de la máquina.

De acuerdo con lo expuesto, se observan las dimensiones preliminares de los reposapiés en las figuras 31 y 32.

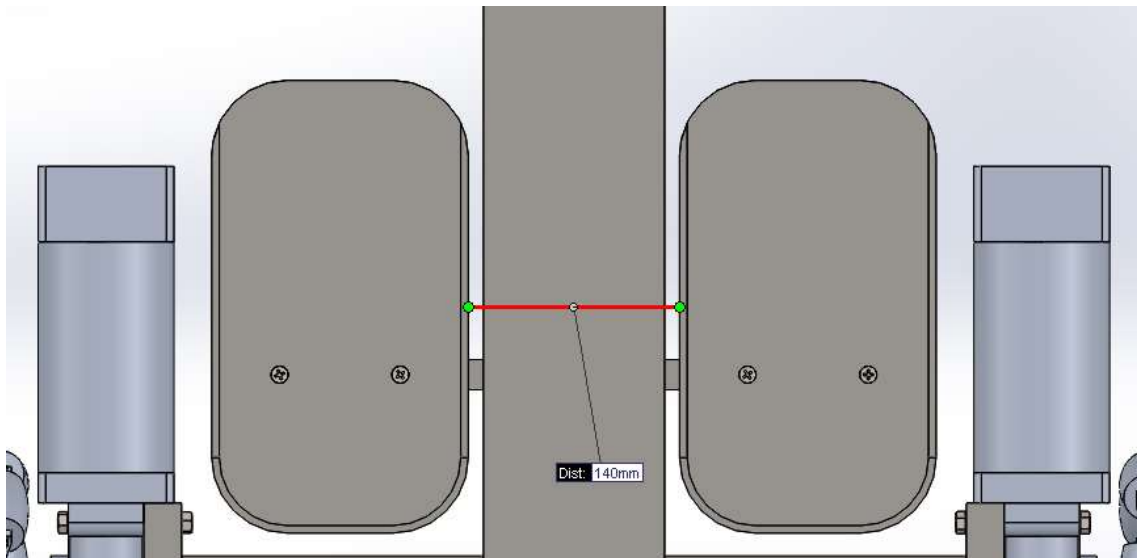


Figura 31. Separación interior entre los reposapiés.

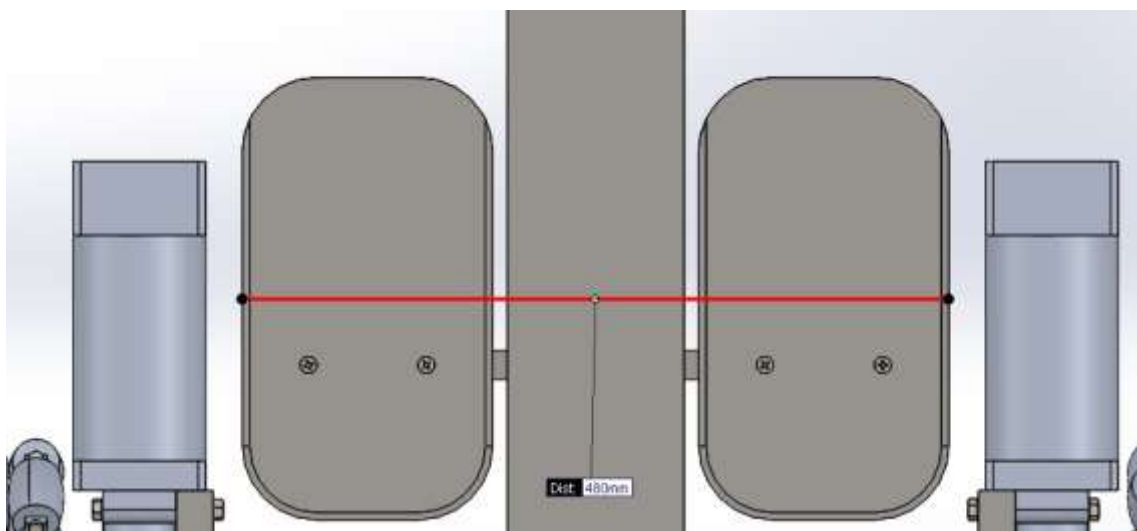


Figura 32. Separación máxima entre los reposapiés.

5.4. Alcances del movimiento

Los alcances del movimiento son el resultado del estudio de todas las variables que influyen en las dimensiones del diseño del exoesqueleto en conjunto. Estas variables son de aspectos relacionados con la seguridad y ergonomía del operario y funcionalidad del exoesqueleto. Además se consideran variables impuestas por el cálculo estructural del exoesqueleto y la elección del actuador ideal como relevantes para la definición de estos alcances.

A la hora de determinar los alcances de movimientos del presente proyecto, se presenta la necesidad de recurrir a las restricciones de movimientos impuestas en el proyecto de los brazos. Igualmente se requiere del proyecto de la base del exoesqueleto para definir las limitaciones de movimientos que presenta este proyecto en conjunto con el presente.

5.4.1. Brazo

A continuación se definen cada una de las restricciones del movimiento para la parte del brazo del exoesqueleto.

- Ángulo máximo del brazo bajo la horizontal: ángulo máximo que puede alcanzar el brazo en conjunto por debajo de la horizontal respecto al hombro. Su valor se ha visto limitado por las dimensiones del actuador y las orejas donde se soporta el mismo.

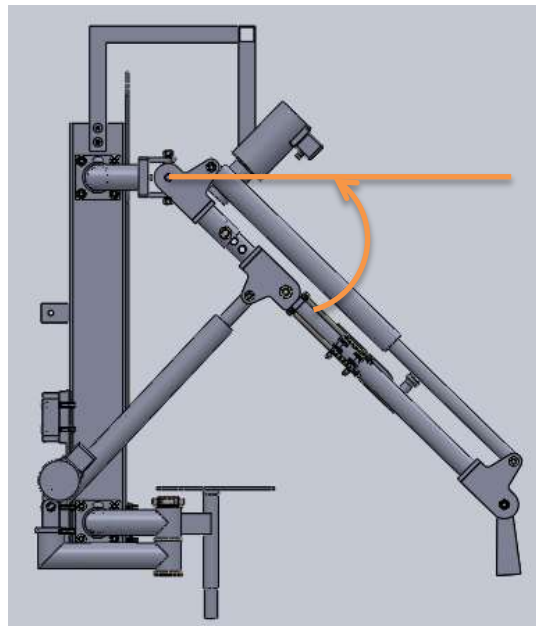


Figura 33. Ángulo máximo del brazo bajo la horizontal.

- Ángulo máximo del brazo sobre la horizontal: ángulo máximo que puede alcanzar el brazo en conjunto por encima de la horizontal respecto al hombro. Su valor se ha visto limitado por la fuerza máxima ejercida por el actuador en la máxima extensión de su vástago.

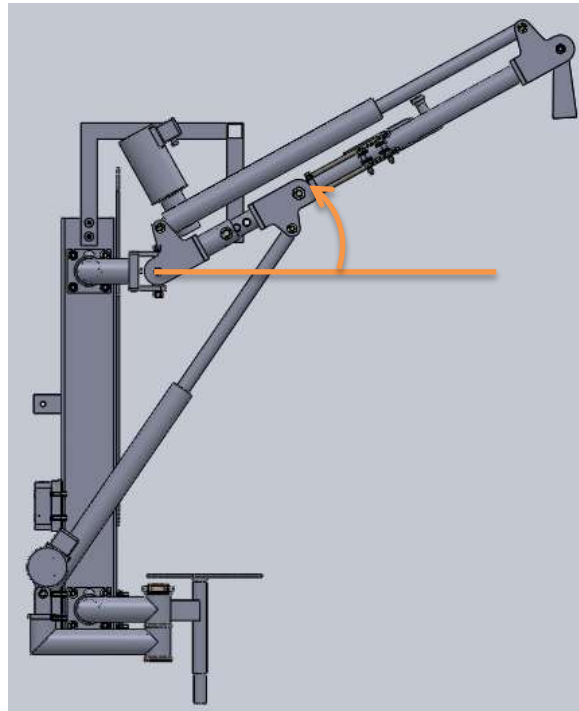


Figura 34. Ángulo máximo del brazo sobre la horizontal.

- Ángulo mínimo entre brazo y antebrazo: ángulo mínimo entre ejes axiales de brazo y antebrazo respecto al codo. Este ángulo está limitado a la extensión máxima de un brazo humano y corresponde a la alineación de ambos ejes axiales. Como consecuencia, el ángulo mínimo entre brazo y antebrazo se dará cuando el conjunto del brazo esté completamente estirado. La limitación de este ángulo se deriva de la imposibilidad, anatómicamente hablando, de que el antebrazo del operario realice un giro por debajo del brazo de éste respecto al codo, lo que conllevaría como consecuencia, en el peor de los casos, la rotura de la articulación del codo.

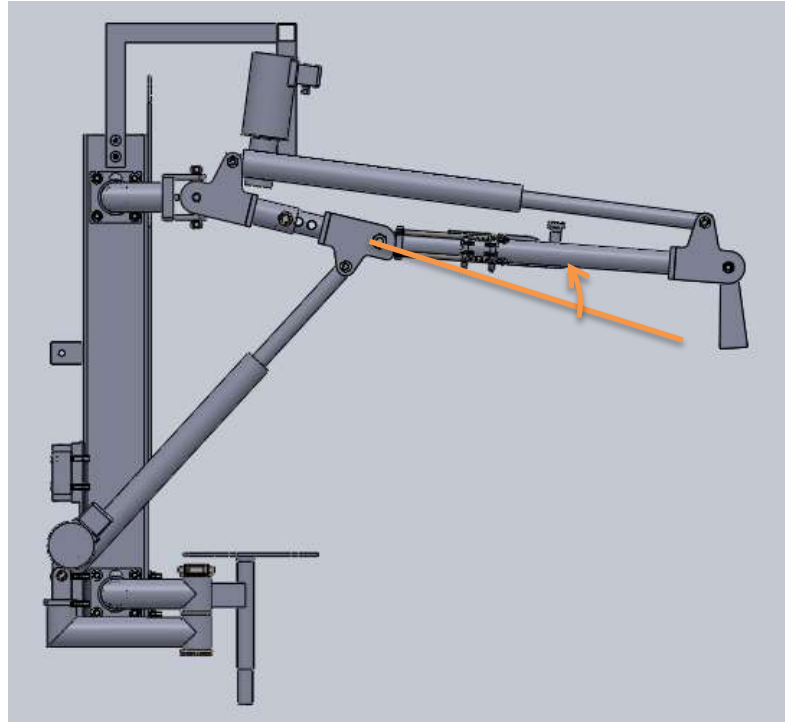


Figura 35. Ángulo mínimo entre brazo y antebrazo.

- Ángulo máximo entre brazo y antebrazo: ángulo máximo entre ejes axiales de brazo y antebrazo respecto del codo. Este ángulo está restringido a la vertical del sistema global en cualquier punto que se encuentre el conjunto brazo-antebrazo. Esta condición está impuesta por cuestiones de seguridad del operario en cuanto al manejo de cargas próximas al usuario

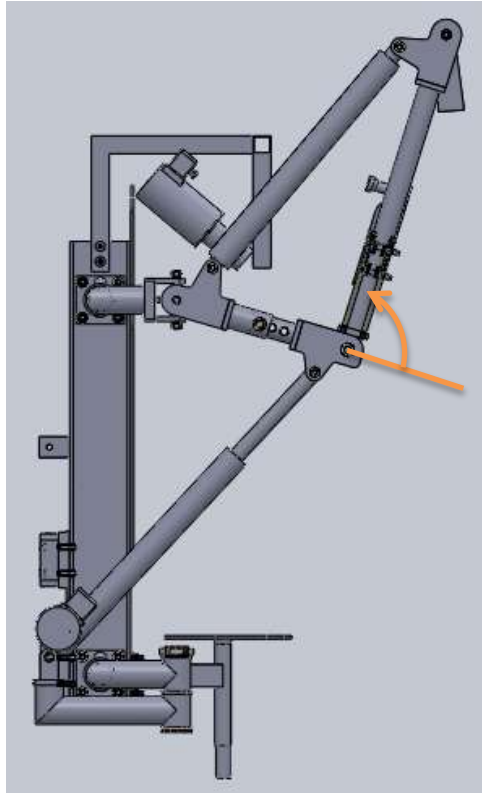


Figura 36. Ángulo máximo entre brazo y antebrazo.

- Ángulo máximo de apertura de los brazos: ángulo máximo de apertura al exterior formado por el eje longitudinal del brazo con el plano perpendicular tanto a la horizontal como al plano contenido en el espaldar del exoesqueleto. Este ángulo está condicionado por cuestiones de estabilidad del conjunto y de utilización, así como por la facilidad para recoger y descargar cualquier tipo de carga permitida por las limitaciones de uso del exoesqueleto.

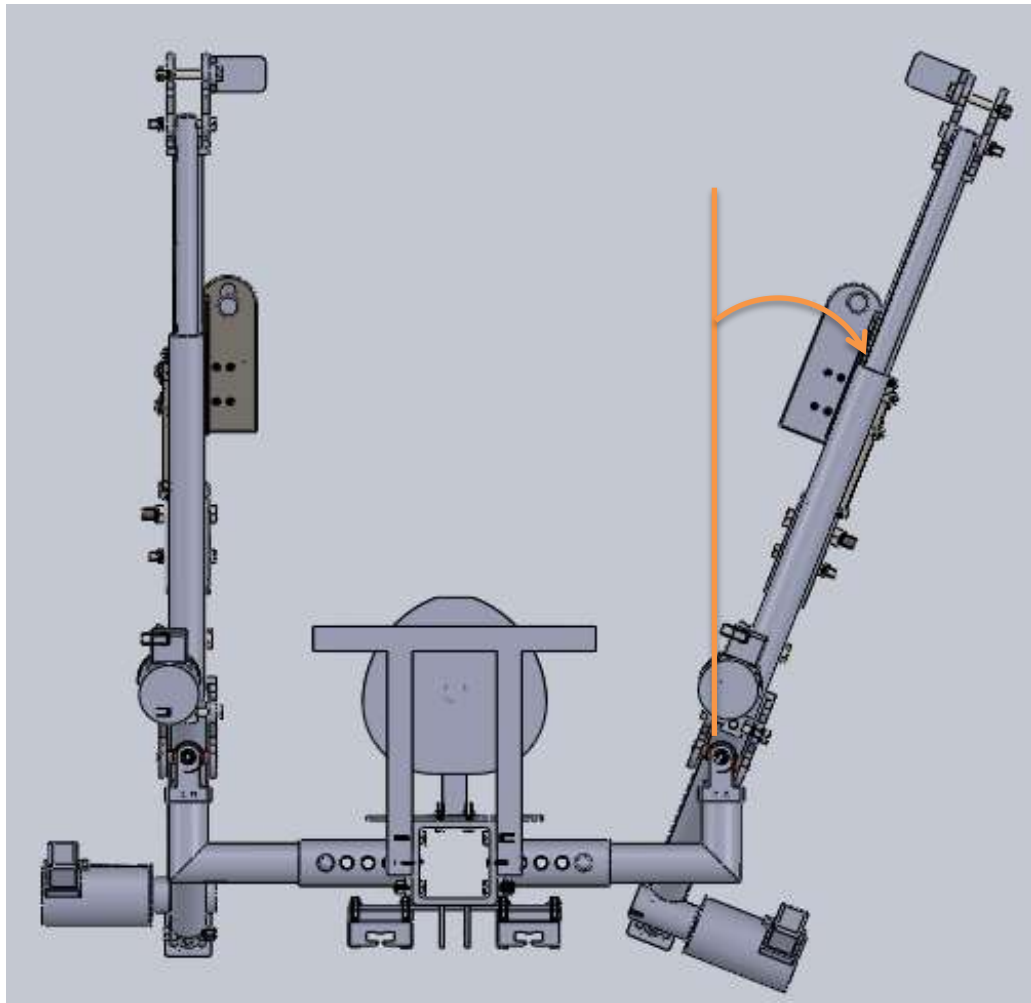


Figura 37. Ángulo máximo de apertura de los brazos.

- Ángulo máximo de cierre de los brazos: ángulo máximo de cierre al interior formado por el eje longitudinal del brazo con el plano perpendicular tanto a la horizontal como al plano contenido en el espaldar del exoesqueleto. Este ángulo está limitado por cuestiones de cálculo de los hombros y las articulaciones de fijación del actuador a la espalda, consiguiéndose mediante el empleo de topes mecánicos.

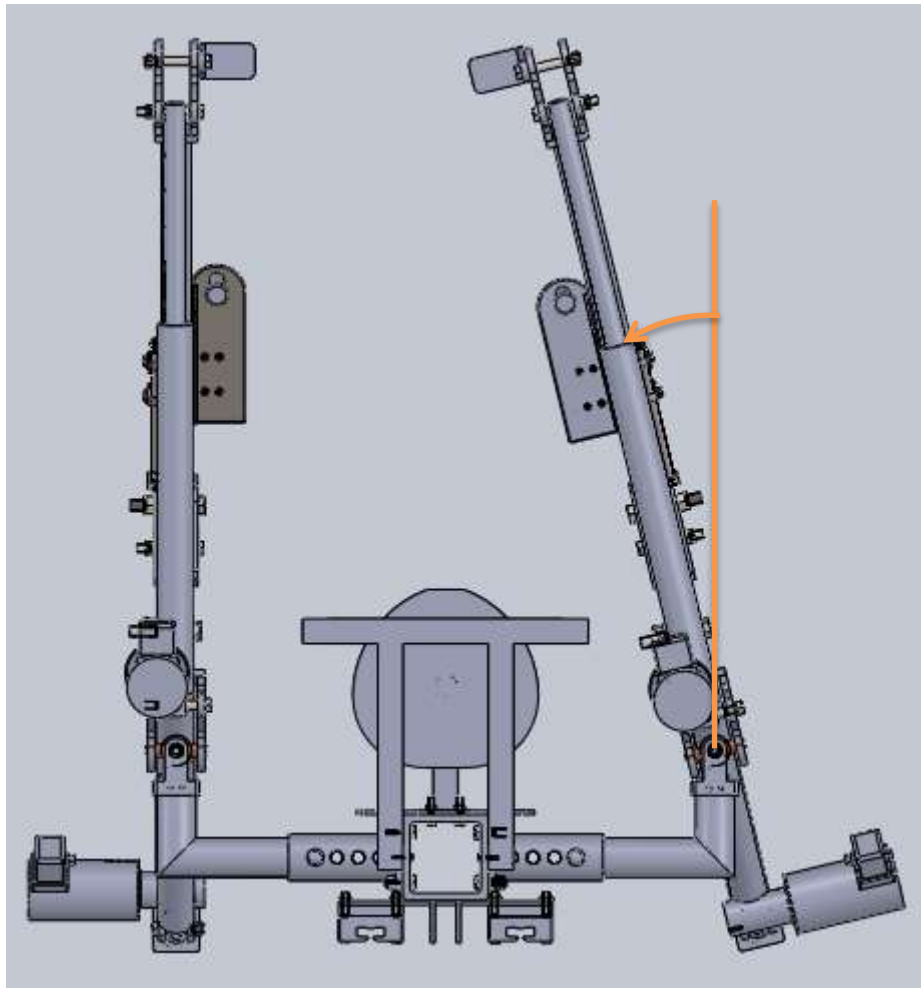


Figura 38. Ángulo máximo de cierre de los brazos.

La tabla 16 muestra los valores de ángulo máximo tomado para cada situación.

Limitaciones al movimiento			
	Brazo	Antebrazo	Conjunto del brazo
Ángulo máximo del brazo bajo la horizontal	-60°	-	-
Ángulo máximo del brazo sobre la horizontal	40°	-	-
Ángulo mínimo entre brazo y antebrazo	-	0°	-
Ángulo máximo entre brazo y antebrazo	-	90°	-
Ángulo máximo de apertura de los brazos	-	-	20°
Ángulo máximo de cierre de los brazos	-	-	10°

Tabla 16. Limitaciones al movimiento de los brazos.

5.4.2. Base y espalda

Se analizó de forma empírica la acción de agacharse de un individuo medio. De esta forma, se obtuvieron una serie de parámetros para que, en materia de ergonomía y confort, el usuario pudiese realizar dicha acción de forma funcional y satisfactoria.

Se definió el punto muerto inferior (PMI) o lo que es igual, la distancia desde la base del exoesqueleto hasta el asiento en el punto más bajo del recorrido, en 30 cm. Por otra parte, se asumió como punto muerto superior (PMS), es decir, la distancia desde la base del exoesqueleto hasta el asiento en el punto más alto del recorrido, y encontrándose éste en el punto más bajo, en 80 cm. Por tanto, se consideraron dichos valores como suficientes para llevar a cabo el movimiento de forma funcional sin el riesgo que podría conllevar realizar una total extensión o flexión de la articulación de la rodilla, tal y como se lleva a cabo en la vida diaria. La figura 39 muestra tanto el PMI como el PMS.

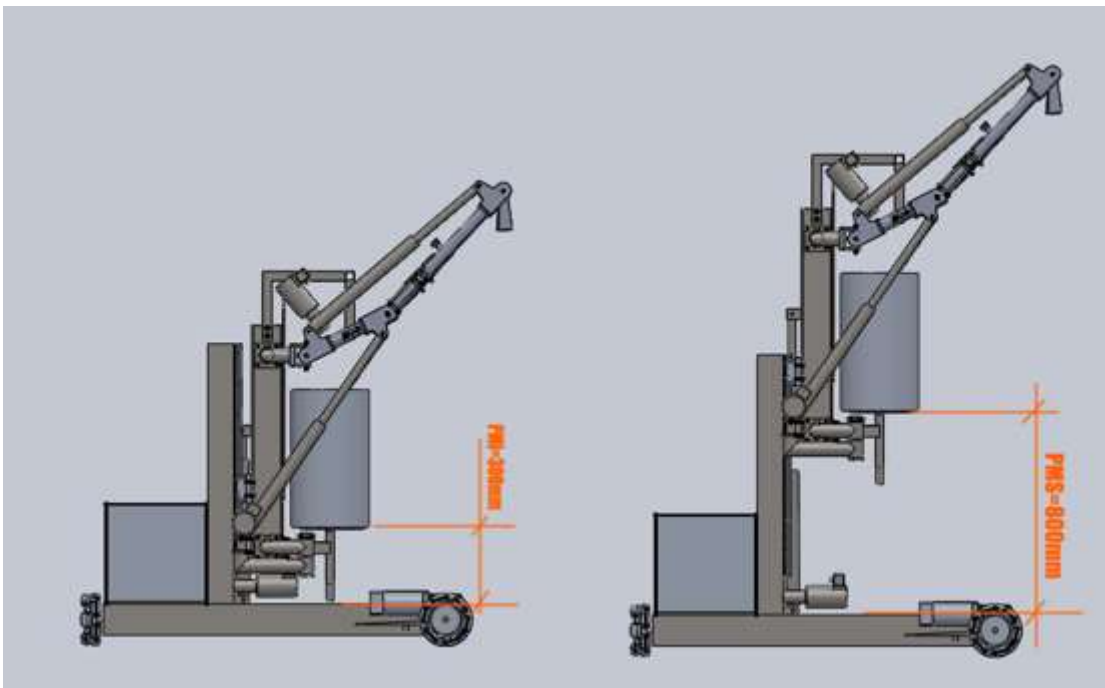


Figura 39. Punto muerto superior (PMS) y punto muerto inferior (PMI)

5.4.3. Dimensiones globales

A continuación, se muestran las dimensiones del exoesqueleto en general, para el caso menos compacto, es decir, cuando se encuentra en el PMS, con los brazos completamente estirados a 40 grados sobre la horizontal y con la anchura de la espalda al máximo; y para el caso más compacto, es decir, cuando se encuentra en el PMI, los brazos encogidos hasta su longitud mínima y con la anchura de la espalda mínima.

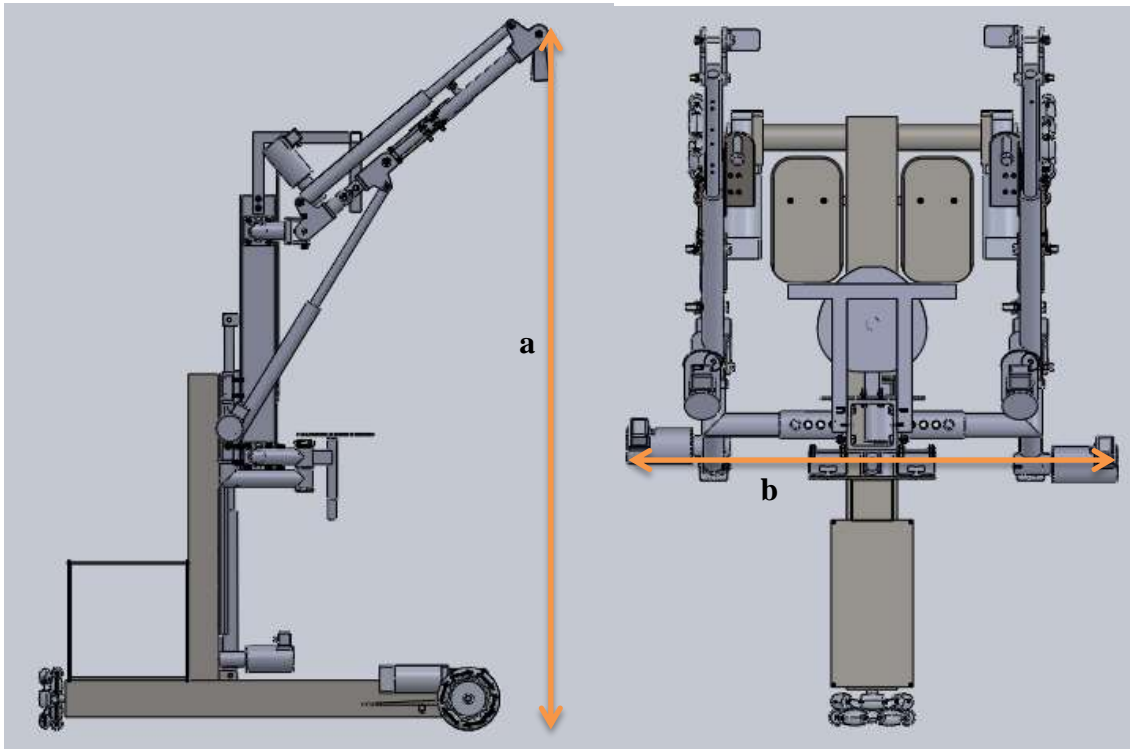


Figura 40. Medidas máximas para el exoesqueleto en vertical (izquierda) y horizontal (derecha) para el caso menos compacto.

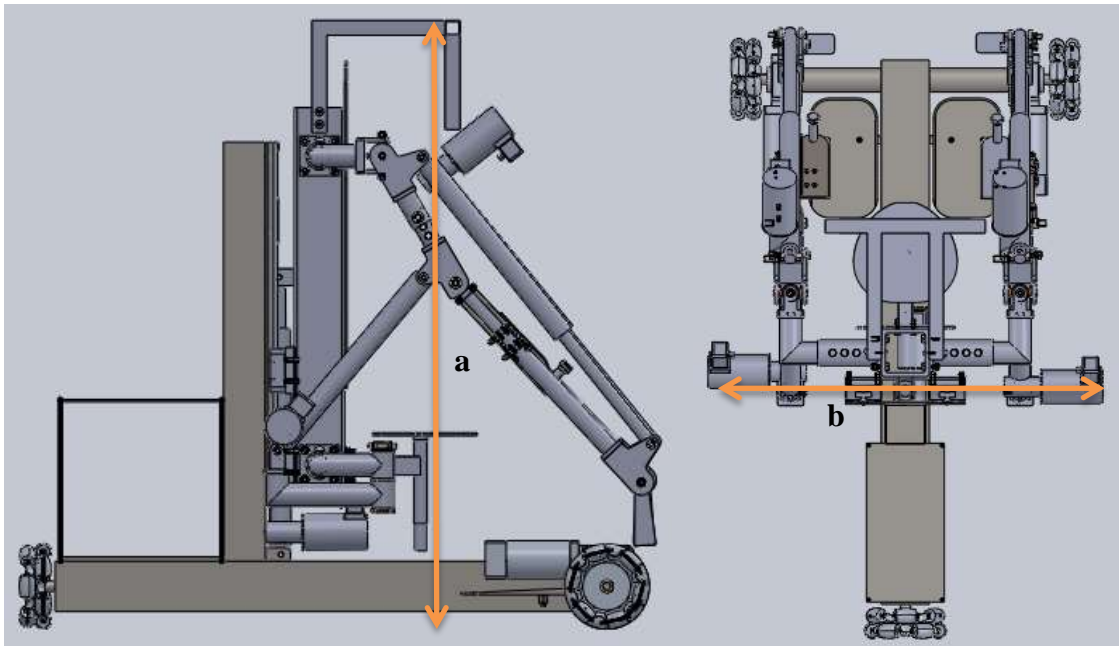


Figura 41. Medidas máximas para el exoesqueleto en vertical (izquierda) y horizontal (derecha) para el caso más compacto.

Caso	a	b
Menos compacto	2317,45 mm	1169 mm
Más compacto	1451,54	989 mm

Tabla 17. Dimensiones de la estructura para el caso más compacto y el menos compacto.

6. Análisis de Soluciones

En el presente apartado se explican todos los diseños realizados hasta la consecución del diseño final, explicando las razones por las cuales se desechó cada modelo.

6.1. Sistema de subida y bajada del brazo

6.1.1. Primer modelo

El primer modelo preliminar tomado en consideración como estructura del hombro, se basó en una caja de engranajes para realizar el movimiento tanto de subida como de bajada del brazo. En primera instancia se concibió como un método simple para realizar ambos movimientos, dado que la caja de engranajes se encontraría conectada directamente a un motor eléctrico. Así mismo, a la salida de la caja iría enganchada a una horquilla, a la cual iría conectado el brazo. Esta horquilla permitiría el libre movimiento del brazo tanto para la apertura como para el cierre del brazo. La figura 42 muestra un esquema del diseño.

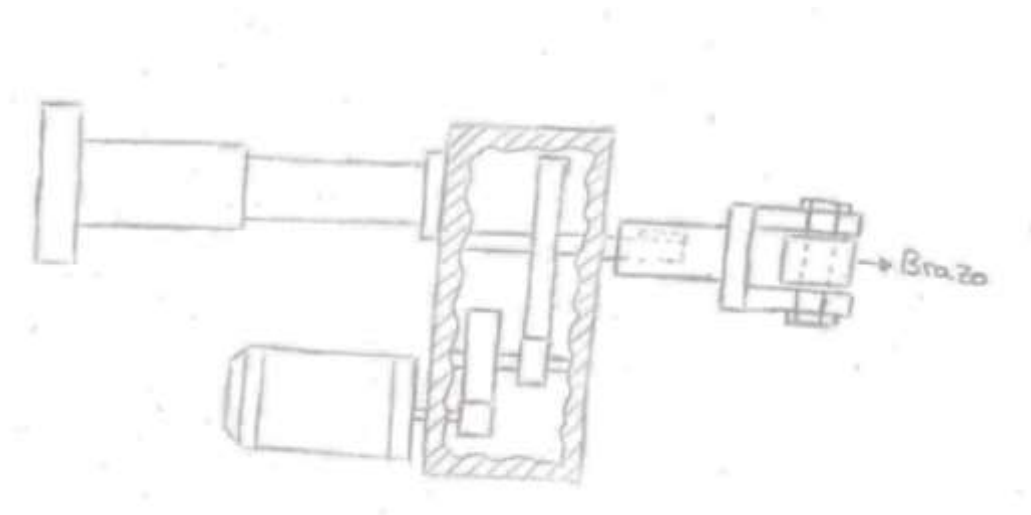


Figura 42. Sistema de caja de engranajes.

Así mismo, se muestra un diseño de caja de engranajes preliminar en la figura 43.

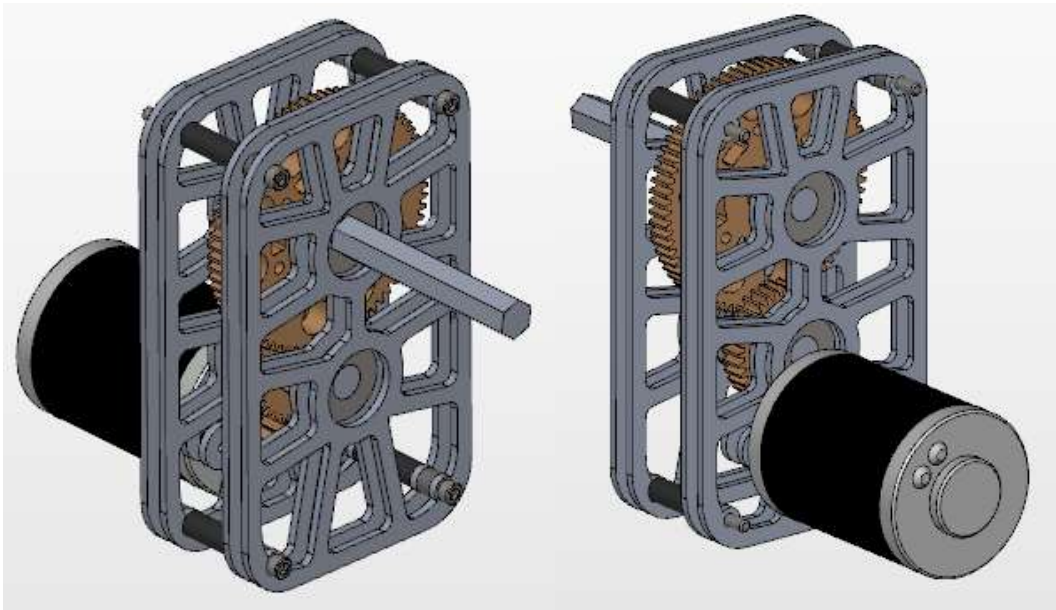


Figura 43. Caja de engranajes preliminar.

Esta idea fue desechada principalmente porque no llego a adecuarse a las medidas del resto de partes del proyecto, así como consecuencia de los altos valores de par que los engranajes habrían tenido que resistir, el peso de todo el conjunto, las dimensiones tanto de la caja como el motor y el costo.

6.1.2. Segundo modelo

Se propuso incorporar un actuador eléctrico angular, es decir, que a partir del movimiento giratorio de un motor, moviese una cremallera circular, para satisfacer el movimiento anteriormente citado. En primera instancia se tomó como una solución práctica, dado que al ser el elemento que transmite el momento curvo, ocuparía un menor espacio en el hombro. Así mismo, las cargas que debería de resistir no serían excesivas, las cuales fueron calculadas para justificar su incorporación.

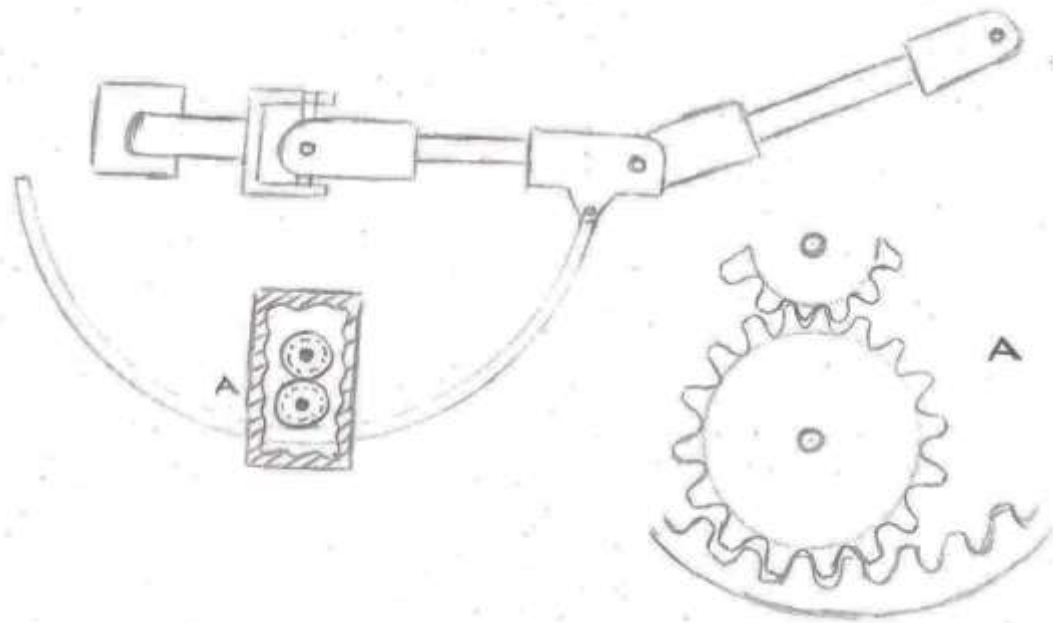


Figura 44. Sistema por medio de un actuador angular.

Como consecuencia de la no disponibilidad de modelos comerciales para este tipo de actuadores, la falta de tiempo para diseñar uno así como su voluminosidad y complejidad (residiendo esta, entre otras, en el empleo de ruedas dentadas grandes con dentado interno), esta idea fue desechada.

6.1.3. Modelo final

Se planteó la idea de que el sistema tanto de subida como de bajada de la estructura del brazo fuese llevado a cabo por medio de un actuador lineal eléctrico. La existencia de una amplia gama de modelos comerciales, su relativamente reducido coste y su intercambiabilidad fueron las condiciones determinantes para su selección. Además, el hecho de poder emplear el mismo modelo en diferentes zonas del exoesqueleto hace más factible su elección. Por su capacidad de carga y dimensiones, se seleccionó el actuador lineal eléctrico ALI 4/-/M23/24DC. Las características del modelo se muestran en la tabla 17, así como una imagen del actuador en la figura 45.

Modelo	ALI 4-/M23/24DC
Fuerza máxima	4100 N
Velocidad	13 mm/s
Tamaño del motor	D85
Velocidad de giro del motor	3000
Ratio de reducción	1:16
Diámetro de rosca	18 mm
Paso	4 mm
Eficiencia	0,26
Carrera necesaria	417 mm

Tabla 18. Características del actuador seleccionado.



Figura 45. Actuador lineal eléctrico ALI4.

6.2. Hombro

6.2.1. Modelos conjuntos

6.2.1.1. Primer modelo

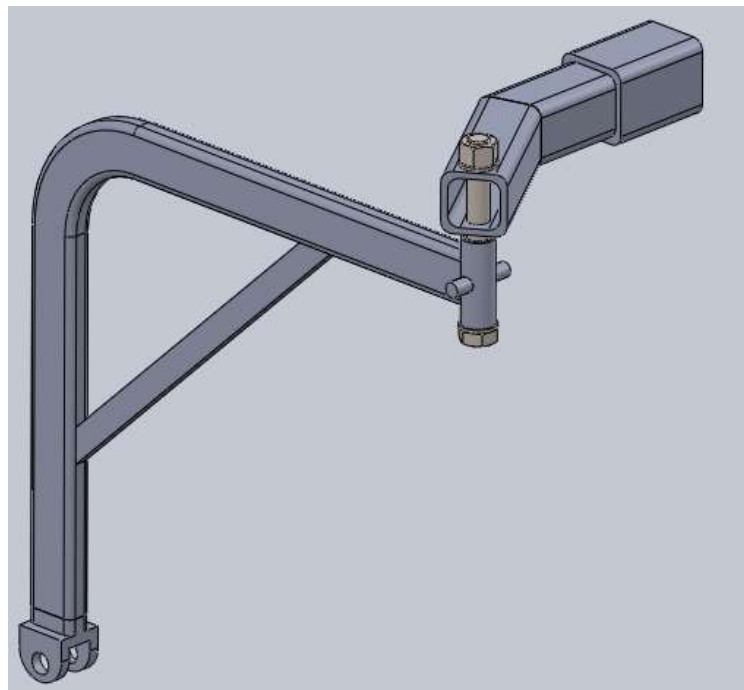


Figura 46. Primer modelo del hombro.

En este primer modelo correspondiente a la estructura del hombro, se pretendía diseñar una única estructura, la cuál serviría también de soporte para el actuador. En primera instancia, se planteó que la estructura iría por encima del hombro, situándose únicamente a la altura de éste el elemento giratorio al que iría enganchada la estructura del brazo, así como la estructura de soporte del actuador lineal eléctrico. En lo que a la estructura que soportaría el hombro se refiere, esta estaría compuesta por dos perfiles rectangulares, deslizando uno dentro del otro, con el objetivo de permitir la regulación del ancho de la espalda.

En el extremo del perfil retráctil, se realizaría un agujero pasante, en el cual se colocaría el sistema que permitiría el giro del brazo, así como la subida y la bajada del mismo. La figura 47 muestra una vista detallada del mismo.

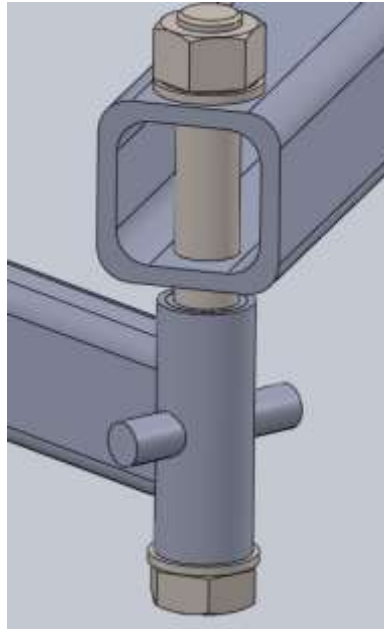


Figura 47. Primer sistema móvil del brazo.

Como consecuencia de la elección de un actuador lineal eléctrico, se requirió diseñar una estructura en la cual se apoyara su base. Esta estructura estaría soldada al cilindro anteriormente mencionado. De este modo, tanto el actuador como el brazo mecánico se situarían siempre en el mismo plano. Debido a las dimensiones del actuador, fue necesario que el eje del enganche de la base se situase muy por detrás del eje del hombro sobre el cual se movería el brazo. Esta decisión fue necesaria para permitir, para el ángulo mínimo del brazo, que el actuador estuviese, como máximo, recogido por completo. La figura 48 muestra un esquema del modelo que nos concierne junto con el brazo y el actuador lineal eléctrico.



Figura 48. Vista de la estructura preliminar con brazo.

El presente modelo presentaba varios inconvenientes. En primer lugar, se destaca el hecho de que, para esta configuración, la fuerza que debía ejercer el actuador para ser capaz de sostener la carga en la posición más desfavorable era muy elevada, y como consecuencia las tensiones resultantes en la estructura sobrepasaban ampliamente el límite elástico de un acero común. Estas tensiones se generaban principalmente como consecuencia del contacto entre componentes. Así mismo, los desplazamientos acaecidos en la estructura (y principalmente en la estructura de soporte del actuador) eran demasiado elevados. La magnitud de estos resultados se debía principalmente a los momentos generados por las cargas aplicadas, dado que todas ellas se encontraban descentradas con respecto al punto de anclaje de la estructura con la columna.

A su vez, existían varias interferencias entre el actuador y la estructura de soporte, tanto a la hora de elevar el brazo como de bajarlo. Del mismo modo, existían interferencias entre el actuador y el tornillo estructural al elevar la carga, y entre la horquilla del brazo y los perfiles de la estructura del hombro.

Como consecuencia de todo ello, el modelo tuvo que ser desechado.

Análogamente, y ante la preocupación de que las excentricidades dadas por la distancia entre el brazo del usuario y el mecánico fuesen elevadas, se planteó un diseño para su corrección. En este, se añadiría un nuevo sistema móvil en el perfil retráctil correspondiente a la estructura del hombro, el cual, al mover el usuario el brazo, mantendría la articulación del codo de éste y del exoesqueleto a la misma distancia.

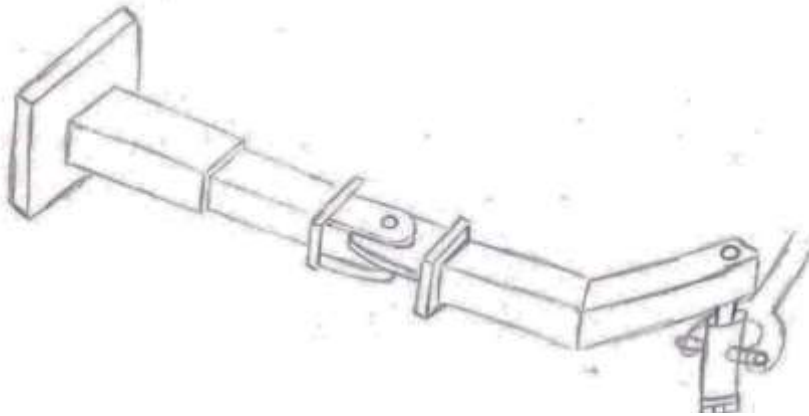


Figura 49. Sistema de corrección de excentricidades.

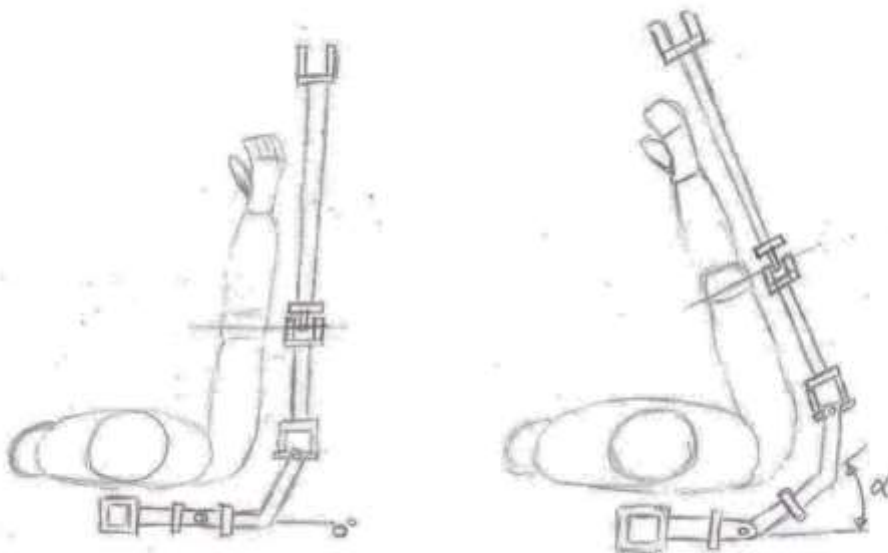


Figura 50. Funcionamiento del sistema de corrección de excentricidades.

El planteamiento de este diseño generó grandes dificultades, dado que no solo las tensiones en el sistema móvil serían elevadas, sino que además generaba interferencias y problemas con el resto de partes del proyecto. Finalmente, se consideró que estas excentricidades no generarían problemas de ergonomía sobre el usuario, luego se desechó la idea.

6.2.2. Modelos separados

Dado que las principales características del modelo, como consecuencia de las cuales las tensiones sobrepasaban ampliamente el límite elástico del material, eran los momentos generados como consecuencia de la carga ejercida por el actuador lineal para soportar la carga del brazo, los cuales se transmitían por completo a la estructura del hombro, se planteó en primera instancia que la mencionada estructura se situase a la misma altura del hombro del usuario, por detrás de su espalda en lugar de por encima. De este modo, las reacciones surgidas en el hombro no generarían un momento torsor adicional.

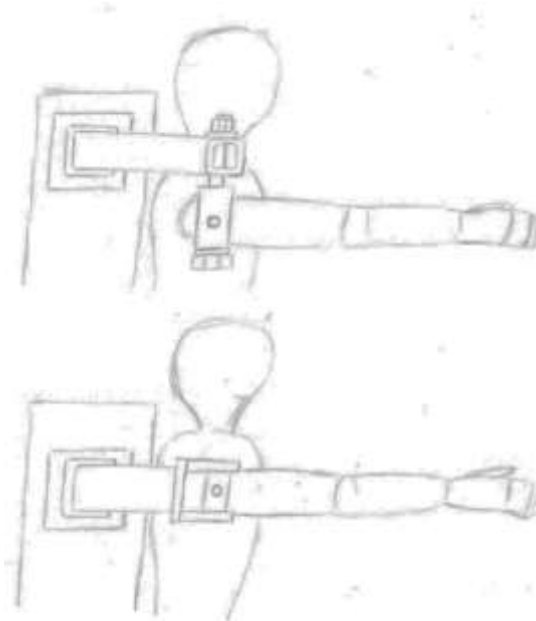


Figura 51. Situación del sistema móvil del hombro.

Así mismo, con el objetivo de que las fuerzas generadas sobre la estructura que soporta el actuador, no se transmitiesen a la estructura del hombro, se planteó que la estructura que soporta el actuador se separase físicamente de la estructura del hombro. De este modo, la fuerza ejercida por el actuador sobre dicha estructura de soporte sería resistida únicamente por esta, y en última instancia soportada por la columna y la base del exoesqueleto. Por tanto, la estructura del hombro únicamente debería resistir la carga aplicada sobre este, y no la aplicada sobre la estructura de soporte. El actuador sería el nexo de unión entre la estructura de soporte y el brazo.

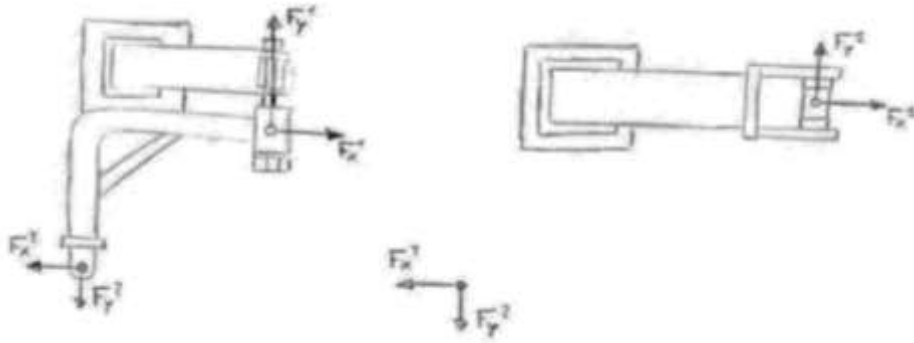


Figura 52. Esquema de las cargas actuantes el sistema conjunto (izquierda) y separado (derecha).

Previamente al diseño de la estructura del soporte, se realizó el cálculo de las fuerzas necesarias por el actuador para diferentes distancias con respecto del eje del hombro y de la oreja donde se sujetaría su extremo. Esta tarea fue de vital importancia, dado que requirió de una estrecha cooperación con el equipo encargado de los brazos para que el diseño de ambos fuese coherente. Inicialmente, se propuso que el eje donde iría sujetado el actuador se encontraría concéntrico con el del eje del hombro. De este modo, al realizar el brazo los movimientos de apertura y cierre, el actuador no variaría su longitud.

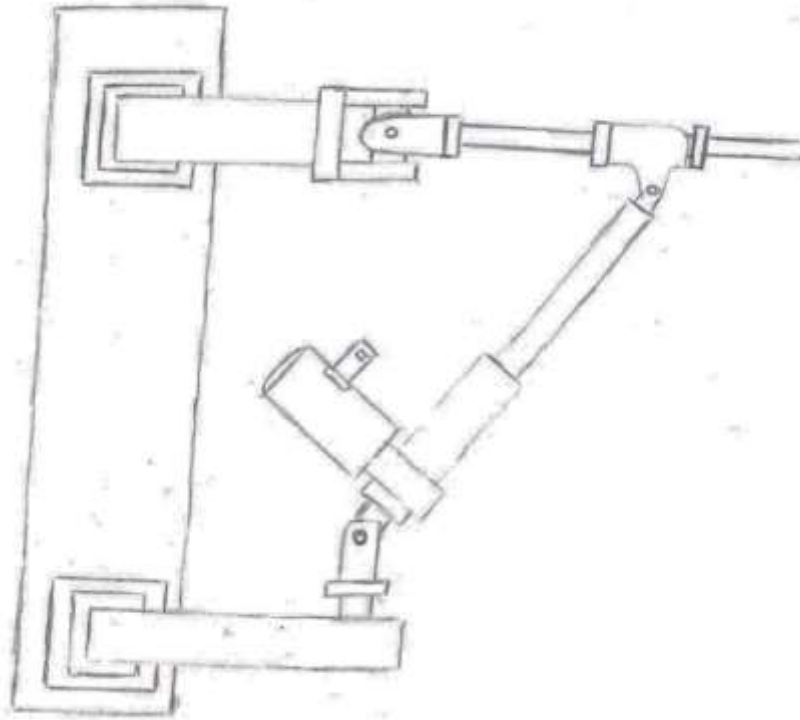


Figura 53. Sistema con actuador lineal bajo el eje móvil del hombro.

A pesar de la sencillez de la disposición propuesta, los valores de fuerza requeridos por el actuador para sostener la carga de diseño eran muy elevados, lo cual derivaba en problemas de diseño tanto para la estructura de soporte como para la del hombro, así como para el diseño y localización de la oreja para sujetar el extremo del actuador al brazo.

Como consecuencia de ello, se decidió plantear un diseño en el cual el eje de giro del actuador en el soporte coincidiese con el eje del hombro, pero situándose la sujeción de la base del actuador más alejada de este.

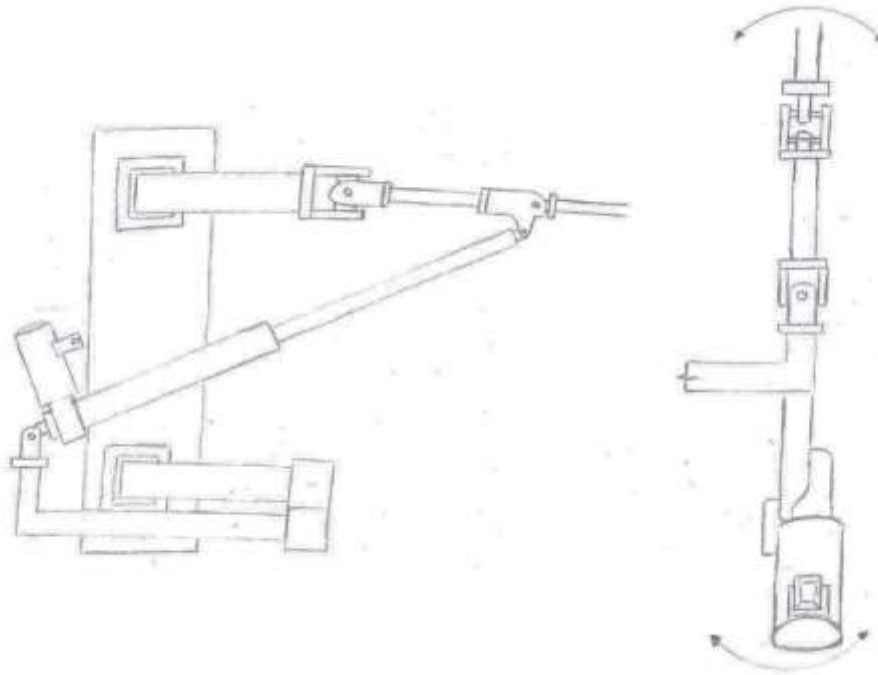


Figura 54. Sistema con actuador hacia atrás.

De este modo, no solo el actuador ejercería menos fuerza para sostener la carga, sino que, al realizar los movimiento de apertura y cierre, este no varía su longitud al encontrarse siempre tanto el actuador como el brazo en el mismo plano. Así mismo, se conseguía que la localización de la oreja de sujeción del extremo del actuador fuese coherente con el diseño del brazo, y permitía que las tensiones originadas en ésta fuesen inferiores.

Por tanto, era necesario diseñar un sistema que permitiese tales características. Para ello, se planteo un sistema de bisagra que, al realizar el brazo el movimiento de apertura y cierre, permitiese que el actuador se moviese solidario a éste, manteniéndolo en el mismo plano. Dado que el actuador es el nexo de unión entre el brazo y la estructura de soporte, este debe tener la suficiente rigidez, y la bisagra debe de estar lo suficientemente lubricada, como para que al realizar los movimientos de apertura y cierre el actuador no sufra flexión. Por tanto, el actuador realizará un movimiento de arrastre sobre el sistema de bisagra.

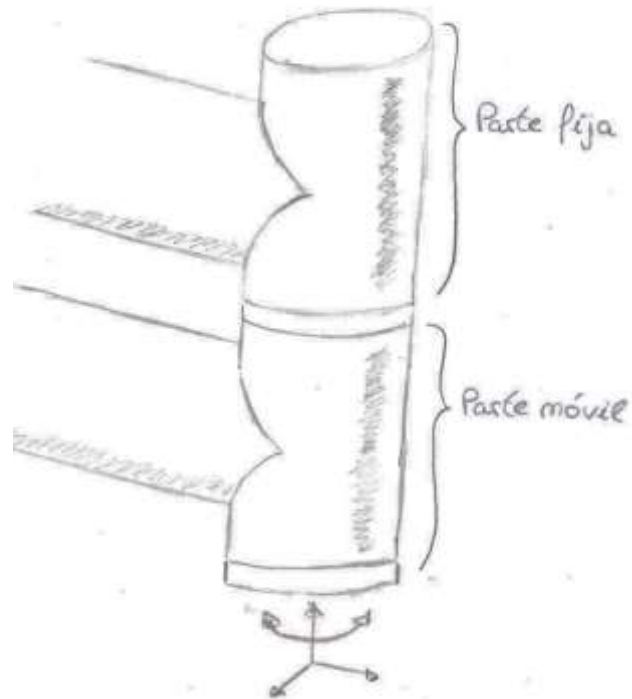


Figura 55. Sistema de bisagra.

Teniendo toda la información anteriormente mencionada en cuenta, se propusieron nuevos diseño para las estructuras del hombro y del soporte.

6.2.2.1. Estructura del hombro

6.2.2.1.1. Primer modelo

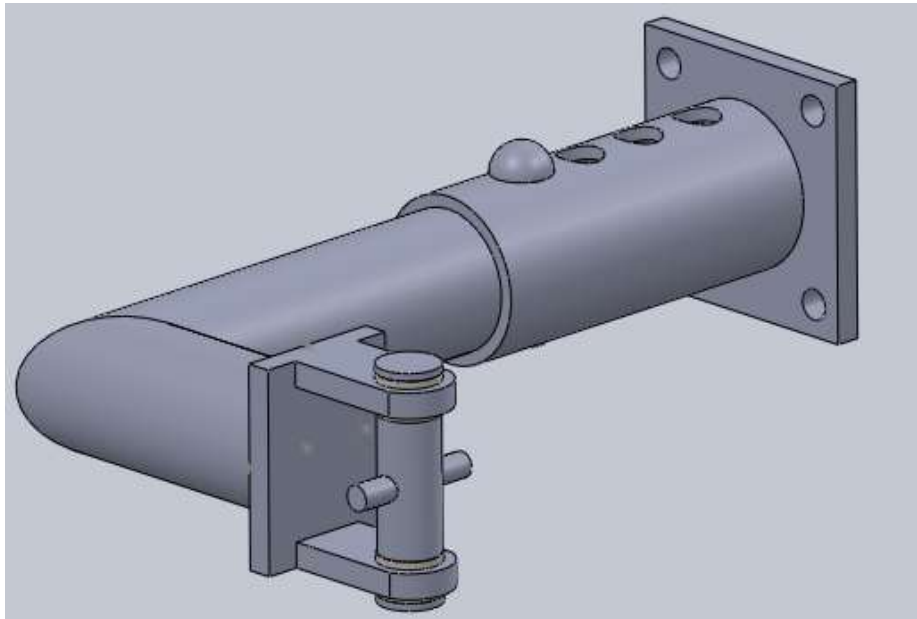


Figura 56. Primer modelo de estructura del hombro.

Para este modelo, se emplearon perfiles tubulares en lugar de cuadrados, dado que estos distribuyen mejor las tensiones, generando tensiones de contacto menos elevadas. Dado que la estructura debía ser regulable, se decidió realizar una serie de agujeros pasantes, en los cuales se colocaría un perno para evitar el deslizamiento de una pieza con respecto a la otra. Toda la estructura se encontraría soldada a una chapa con cuatro agujeros pasantes, en cada uno de los cuales iría un tornillo para sujetar la estructura a la columna. Como sistema móvil en el hombro, se mantuvo el diseño del cilindro giratorio, el cual conectaría la estructura del hombro con el brazo. Sin embargo, para este caso, se diseñó una horquilla, dentro de la cual se situaría el cilindro anteriormente mencionado. La horquilla estaría compuesta por una oreja soldada, y otra oreja desmontable, unida al conjunto por medio de tornillos. El sistema de giro del hombro conservaría varios elementos mencionados en el modelo inicial.

A pesar de que este diseño era el más completo y el más resistente de los diseñados, en aras de la construcción de un prototipo, al existir un elevado número de piezas unas dentro de otras, se decidió remodelar algunas de ellas manteniendo el sistema en sí igual. Así mismo, dado que el brazo tiene por diseño un valor máximo tanto de cierre como de apertura, se debía añadir algún elemento que actuase como limitador. El siguiente apartado muestra el diseño final de la estructura del hombro.

6.2.2.1.2. Modelo final

Introduciendo las modificaciones anteriormente mencionadas, así como las limitaciones del movimiento, se propuso el siguiente modelo final como estructura del hombro, mostrado en la figura 57.

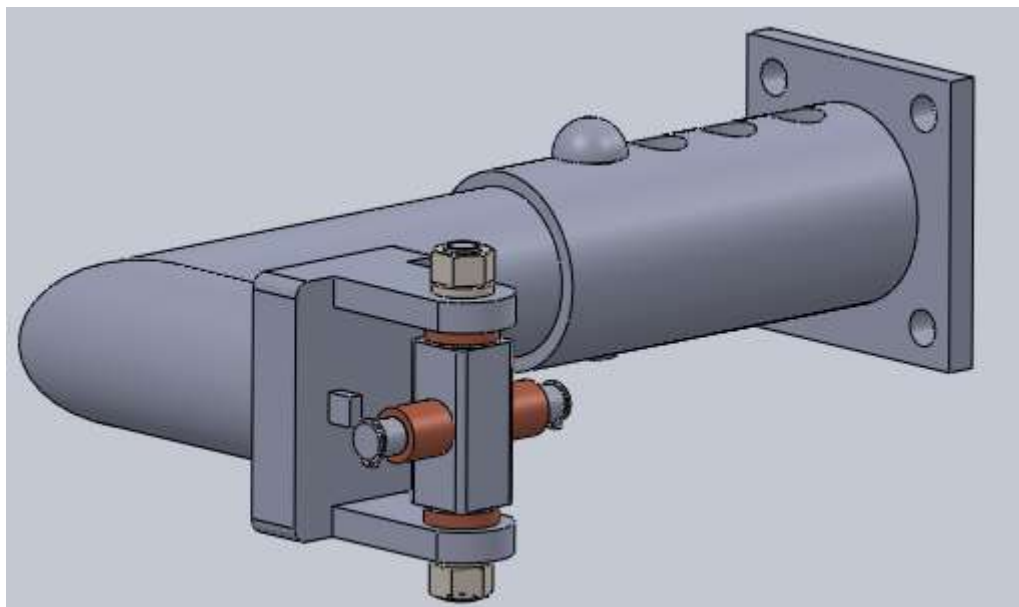


Figura 57. Modelo final de la estructura del hombro.

Se observa que el sistema se encuentra sujeto de la misma forma que el modelo anterior a la estructura de la columna. Las dimensiones dadas a estos elementos se han tomado principalmente como consecuencia de las tensiones originadas en la estructura ante la carga de diseño.

En lo que respecta al sistema móvil del hombro, se ha llevado a cabo un diseño en el cual la cantidad de piezas encajadas unas dentro de otras es inferior a la del modelo anterior, principal razón por la cuál éste fue desechado. El sistema estará sustentado por una horquilla con oreja desmontable, que tendrá como objetivo albergar el sistema móvil anteriormente mencionado. El diseño de una horquilla desmontable viene dado principalmente para permitir el montaje del sistema y su correcta sujeción. Para limitar la apertura y cierre máximo del brazo, se han colocado dos topes mecánicos, a unas distancias determinadas, para evitar el sobrepase de los alcances de movimiento especificados anteriormente. Estos actuarán como barrera física una vez se alcancen los valores máximos y mínimos de apertura. La figura 58 muestra el elemento mencionado.

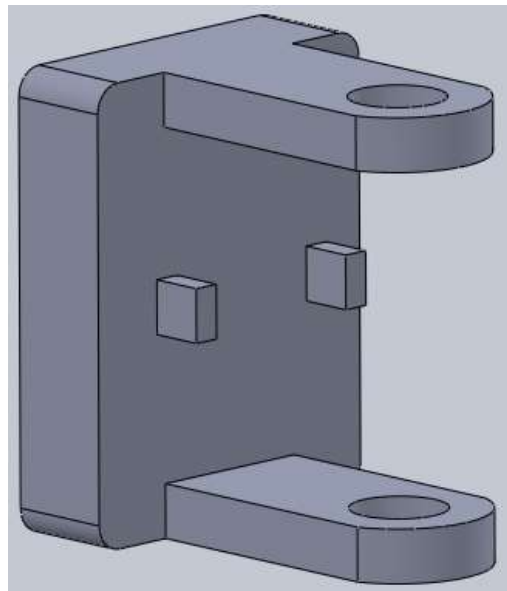


Figura 58. Horquilla con oreja desmontable.

El movimiento de giro del brazo se consigue a través de un cilindro giratorio, el cual se encuentra situado entre ambas orejas. Las dimensiones de éste se han tomado principalmente de tal modo que fuesen coherentes con el resto de elementos del sistema. La figura 59 muestra el elemento mencionado.



Figura 59. Cilindro giratorio.

Para permitir el correcto giro del cilindro en el sistema, se han colocado sendos bujes de bronce de espesor variable en las caras superior e inferior del cilindro. Las medidas tomadas para estos se dan principalmente para adecuarse a los agujeros en los que irán alojados, aumentar su resistencia frente a la carga de diseño, así como para facilitar las operaciones de mecanizado correspondientes. La figura 60 muestra el elementos mencionados.

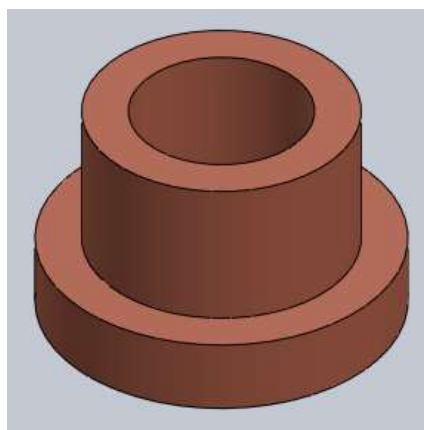


Figura 60. Buje de espesor variable.

Con el objetivo de sujetar la estructura del brazo al sistema móvil, se ha colocado un perno que atravesará todo el cilindro giratorio, y sobre el cual irá sujeta la horquilla del brazo. Las dimensiones de éste se justifican por tener que adecuarse a las medidas de la horquilla del brazo. Para evitar el movimiento relativo entre la mencionada horquilla y el perno, se han colocado arandelas de sujeción en los extremos de éste último. La figura 61 muestra el perno así como las arandelas mencionadas.

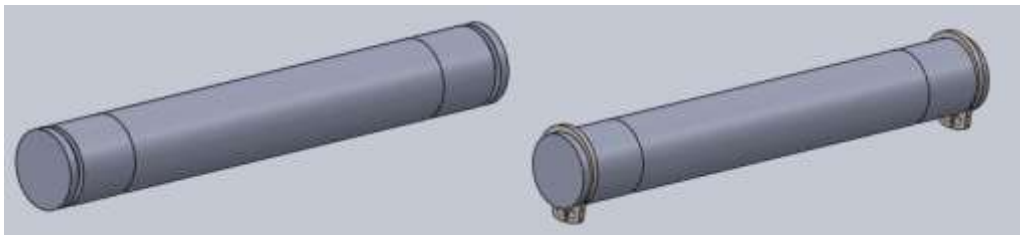


Figura 61. Perno (izquierda) y perno con arandelas de sujeción (derecha).

Para evitar el contacto directo entre el perno y el cilindro, se colocará en el agujero de éste un buje de bronce, de dimensiones justificadas por el ancho del cilindro, así como por las del resto de bujes empleados tanto para el resto de elementos del presente proyecto como para los empleados en los brazos mecánicos. De este modo, se mejora la intercambiabilidad de las partes. La figura 62 muestra el mencionado elemento.

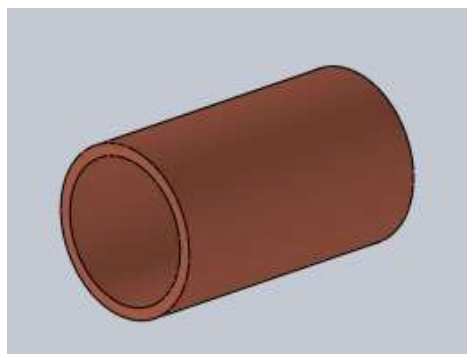


Figura 62. Buje de bronce entre cilindro y perno.

Para mejorar la imposibilidad del movimiento relativo entre la horquilla del brazo y el perno del sistema móvil, se añadirán sendos casquillos de bronce a cada lado de éste.

Sus dimensiones vienen dadas por la distancia entre la cara interior de la oreja de la horquilla del brazo y el cilindro giratorio, así como por el diámetro máximo de los bujes de espesor variable anteriormente mencionados. La figura 63 muestra el elemento anteriormente mencionado.

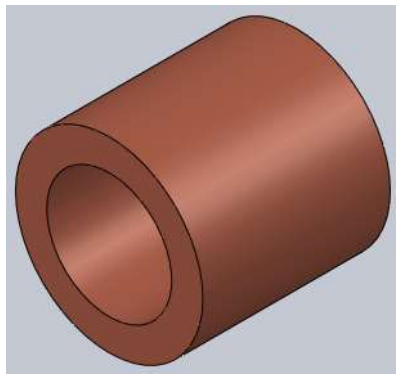


Figura 63. Casquillos de bronce.

Finalmente, con el objetivo de que tanto la horquilla superior como la inferior trabajen de manera similar, se ha decidido añadir sendas tuercas y arandelas, las cuales se roscarán al cilindro giratorio, en la zona de éste dispuesta para ello. De este modo, no solo se asegura un eficiente funcionamiento del sistema, sino que se mejora su sujeción. La figura 64 muestra la localización de todos los elementos mencionados en el sistema.

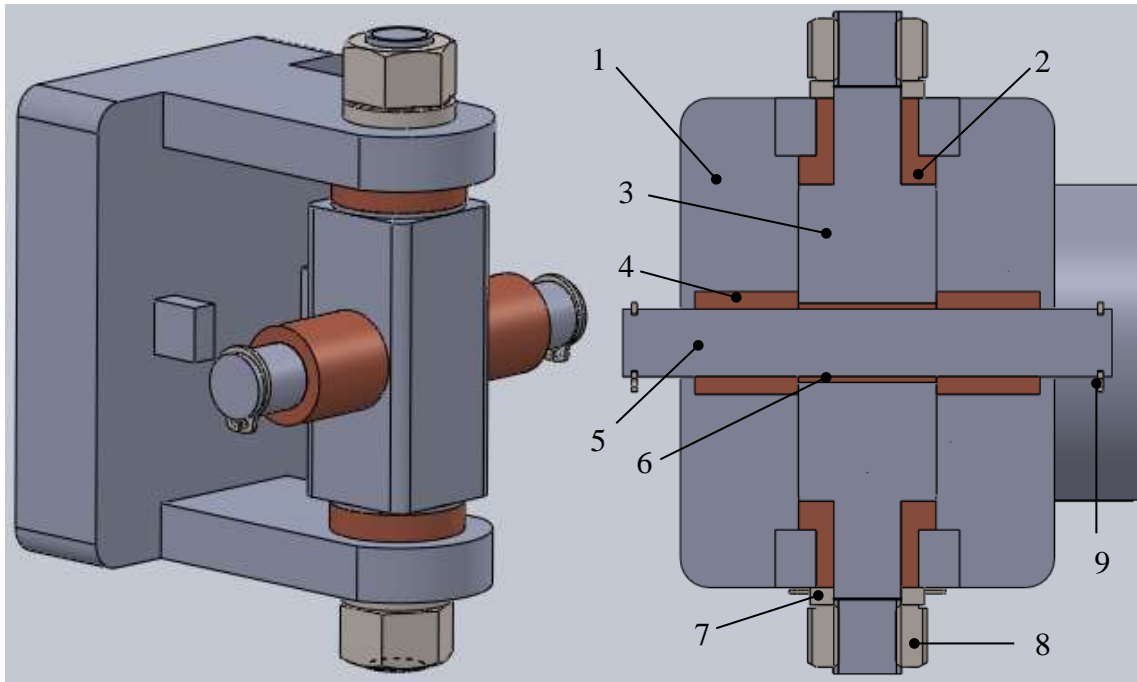


Figura 64. Detalle del sistema móvil del hombro (izquierda) y visualización de componentes (derecha).

Número	Descripción
1	Horquilla
2	Buje de espesor variable
3	Cilindro giratorio
4	Casquillo de bronce
5	Perno
6	Buje de bronce
7	Arandela
8	Tuerca
9	Arandela de retención

Tabla 19. Componentes del sistema móvil final.

6.2.2.2. Estructura de soporte

6.2.2.2.1. Primer modelo

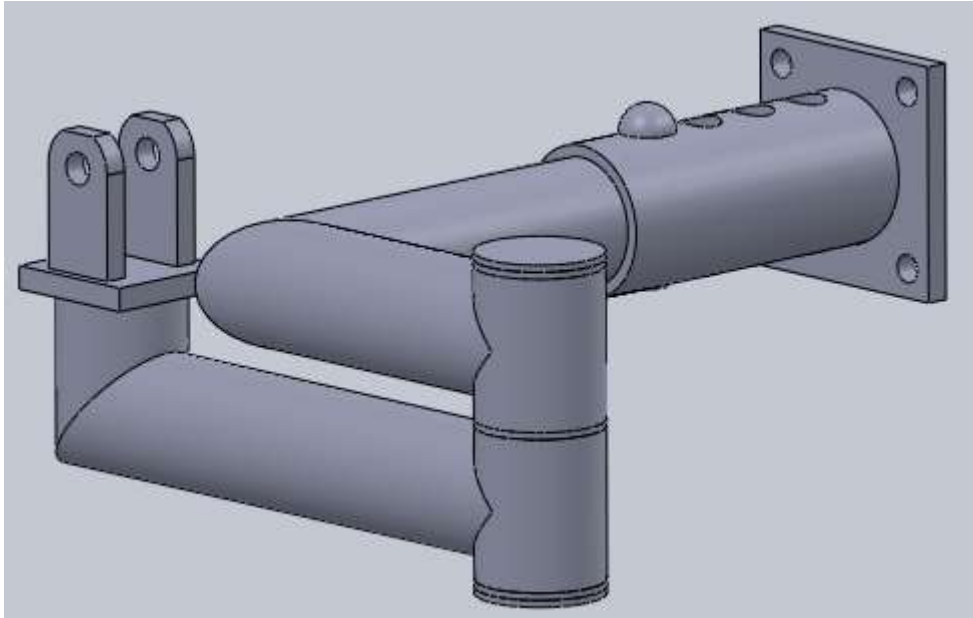


Figura 65. Primer modelo de la estructura de soporte.

Con el objetivo de realizar el sistema más sencillo posible, para el diseño del soporte se emplearon perfiles de las mismas medidas y características que en la estructura del hombro.

Dado que, para evitar el cambio de longitud del actuador en la apertura y cierre del brazo, tanto el eje de giro del hombro como el del actuador en el soporte deben de estar alineados, el sistema de bisagra mencionado se situará justo debajo del eje de giro del hombro. El actuador irá sujeto a una horquilla situada por detrás de la estructura, pero unida físicamente a éste a través de la bisagra.

Por los mismos motivos que en la estructura del hombro, el diseño de la bisagra, con el objetivo de construir un prototipo, tuvo que ser remodelado.

6.2.2.2.2. Modelo final

Llevando a cabo modificaciones para simplificar el sistema, se obtuvo el siguiente diseño, considerado como diseño final, ilustrado en la figura 66.

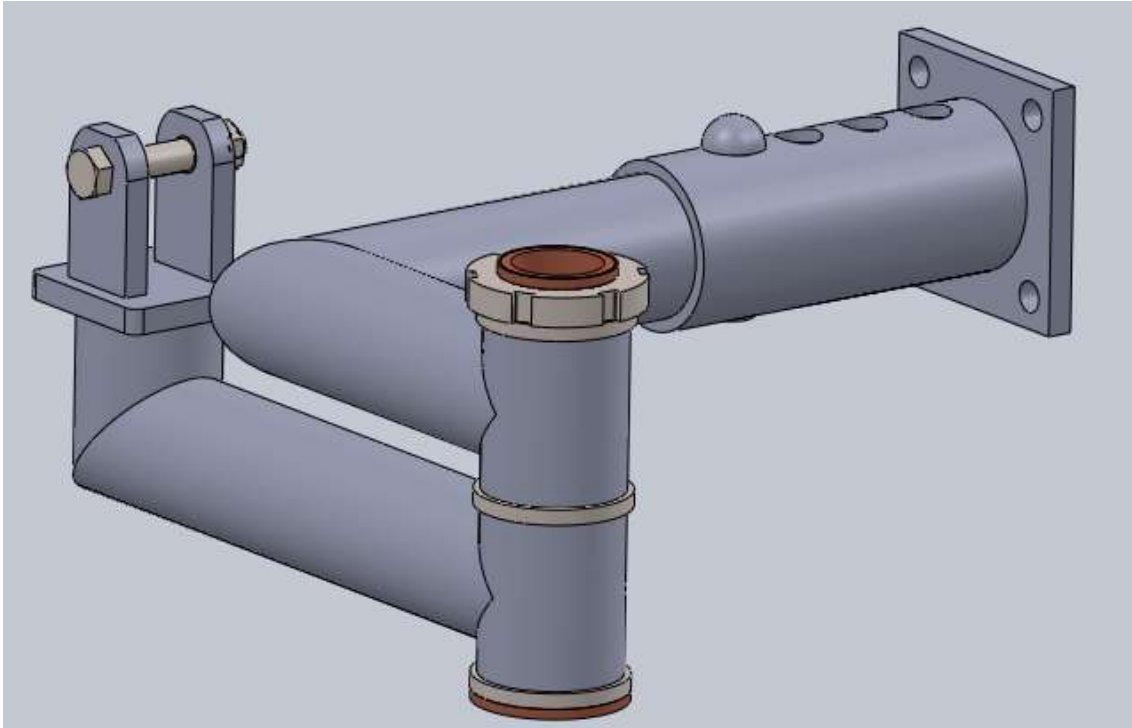


Figura 66. Modelo final de la estructura de soporte.

En lo que respecta a la placa de sujeción con la columna, así como el perfil tubular soldado a esta, serán iguales a los anteriormente nombrados en el diseño final de la estructura del hombro. Los tornillos empleados para la sujeción con la columna también serán iguales. Así mismo, las dimensiones tomadas para el diseño de los diferentes elementos, se tomaron teniendo en cuenta las tensiones generadas en la estructura ante la carga de diseño.

Para este caso, y con el objetivo de simplificar el mecanismo de bisagra anteriormente descrito, se ha propuesto emplear como estructura interna de la bisagra un único buje de bronce, el cual sujetará el sistema por medio de una tapa soldada a su cara inferior, y un roscado en su zona superior, en el cual se alojará una tuerca. Al igual que para los perfiles tubulares, las medidas tomadas para el buje se tomaron teniendo en

cuenta las tensiones generadas en la estructura, ante la carga de diseño. Del mismo modo, estas medidas debían de ser coherentes con respecto al resto de dimensiones de la estructura y componentes en contacto. La figura 67 muestra el elemento anteriormente mencionado, y su unión con la tapa.

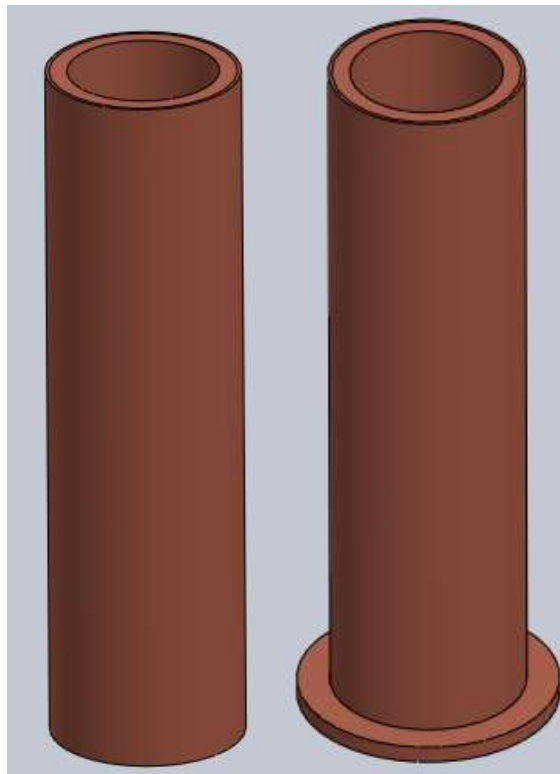


Figura 67. Buje de bronce (izquierda) y buje de bronce con tapa soldada (derecha).

Entre las estructuras tubulares superior e inferior que conforman la bisagra, así como entre estas y los elementos restantes con los que están en contacto, se han colocado sendas arandelas, con el objetivo de permitir el correcto deslizamiento entre las partes.

La figura 68 muestra los componentes de la bisagra.

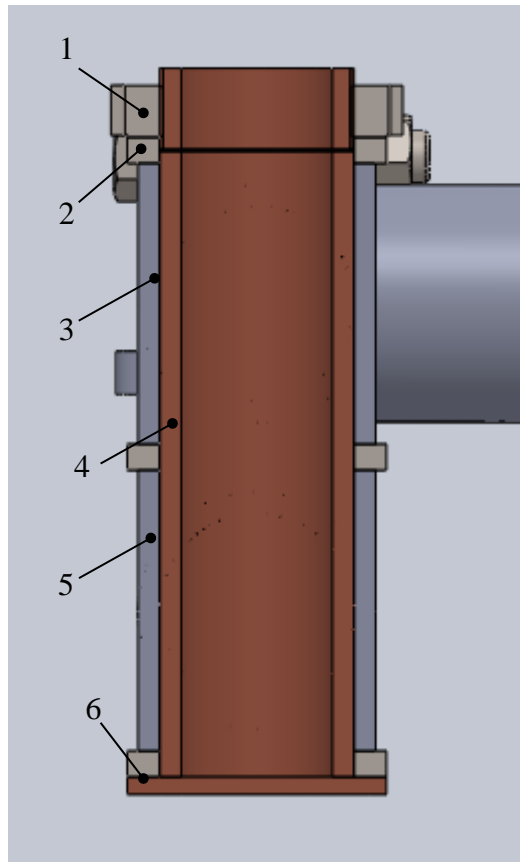


Figura 68. Visualización de los componentes del modelo final del sistema de bisagra del soporte.

Número	Descripción
1	Tuerca
2	Arandela
3	Estructura tubular superior
4	Buje de bronce roscado
5	Estructura tubular inferior
6	Tapa soldada

Tabla 20. Componentes del modelo final del sistema de bisagra del soporte.

En lo que respecta a la horquilla que sujetará la base del actuador, esta estará conformada por dos orejas soldadas, con un espacio suficiente entre ellas como para que se aloje la base del actuador. Este irá sujeto mediante un perno y una tuerca. Para evitar el contacto directo entre las orejas y el mencionado perno, se alojarán sendos bujes de bronce en los huecos de las orejas. Sus medidas vienen justificadas por las dimensiones tanto del perno como de las orejas, así como para facilitar la intercambiabilidad de elementos entre las distintas partes que componen el presente proyecto y el de los brazos mecánicos. La figuras 69 muestran los elementos mencionados.

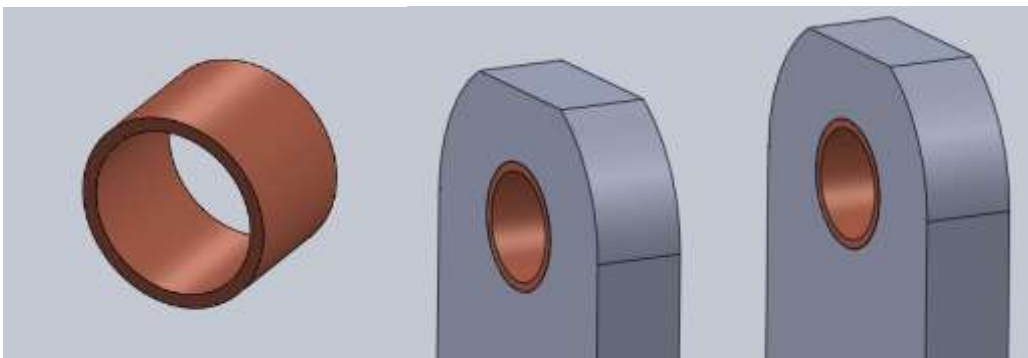


Figura 69. Buje de bronce de la horquilla (izquierda) y su situación (derecha).

6.3. Perfil de la columna

6.3.1. Primer modelo

En este primer modelo se planteó proveer a la columna de la espalda de vertebras mecánicas móviles, con el objetivo de permitir un giro relativo restringido entre cada una de ellas consiguiendo una curvatura global determinada. De esta manera, el conjunto de la estructura podría simular el movimiento realizado por un operario al agacharse de una manera natural y ergonómica. Las vértebras contarían con un espacio interior destinado a un cable de acero encargado de soportar los esfuerzos de flexión de las vértebras, y el mismo sería capaz de, una vez estuviese cargado el exoesqueleto, devolver a la columna su estado vertical inicial mediante la tensión del cable de acero unido por pequeños puntos de apoyo a cada una de las vértebras.

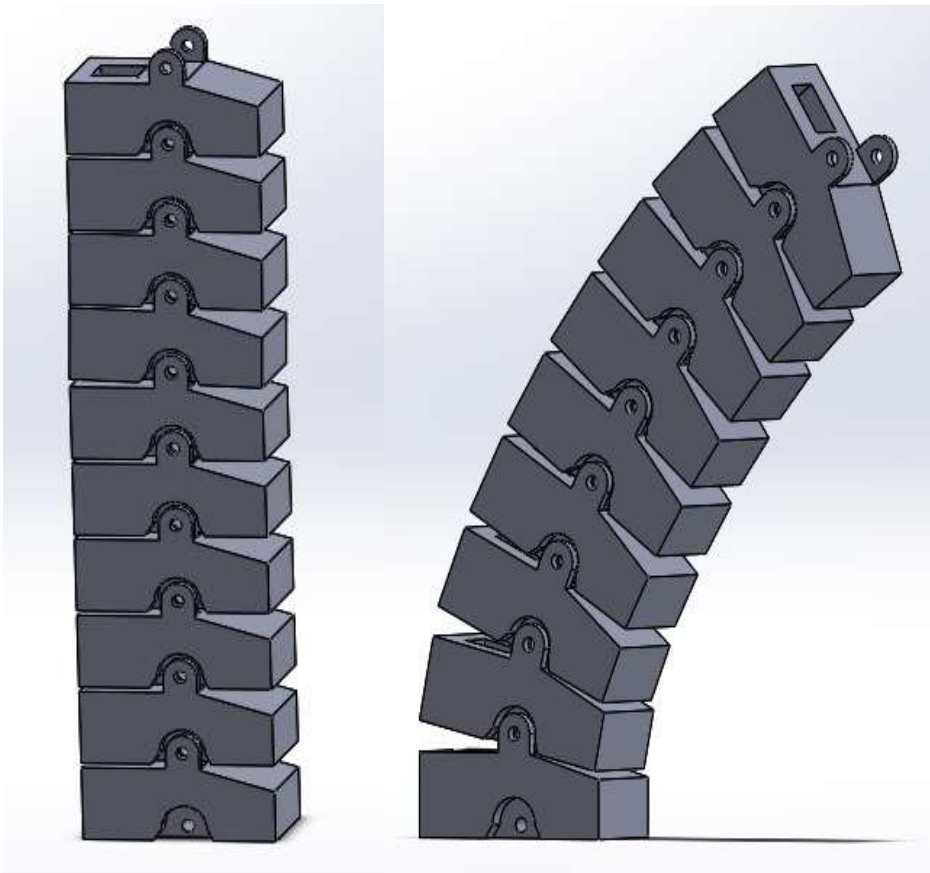


Figura 70. Columna con posibilidad de curvatura.

Al tener situados los puntos de apoyos detrás del eje de giro de cada vertebra, la tensión ejercida por el cable de acero crearía en cada uno de los apoyos una fuerza que haría retroceder la vértebra hasta su posición inicial.

Evidentemente, este primer modelo se desechó no solo por su alta complejidad de diseño y fabricación, sino por la dificultad que entraña llevar a cabo un proyecto con este tipo de estructura con elementos móviles entre sí. Además, Se estimaban unas tensiones muy elevadas en el cable de acero para poder transferir verticalidad a la columna, así como en todos los componentes en contacto con el mismo.

6.3.2. Segundo modelo

En este segundo modelo se intenta solucionar el problema de las elevadas tensiones con una estructura supletoria con la función de aportar verticalidad a la columna y que además soportaría las cargas necesarias para cumplir esta función. También se abandona la idea de una curvatura adaptada a la columna vertebral de una persona y se recurre a un perfil recto con un apoyo con forma ergonómica. Este perfil giraría como una pieza sólida respecto un punto inferior al asiento de la persona, el cual permanecería fijo a la base del exoesqueleto.

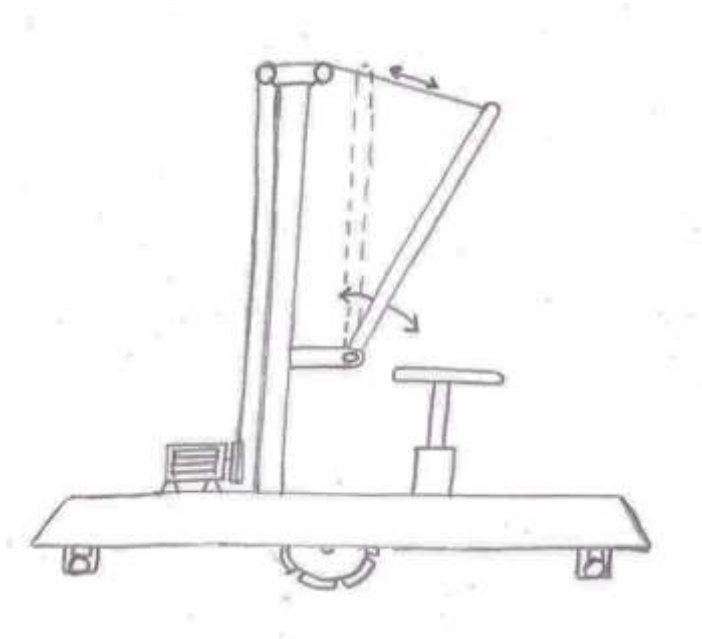


Figura 71. Estructura de la columna con giro asistido por poleas.

Con este nuevo modelo se solventaban parcialmente el problema de las altas tensiones, ya que al haber un punto de apoyo mejor localizado que favorece al momento encargado de aportar verticalidad a la columna, las tensiones en el cable de acero disminuían. Por el contrario, este nuevo diseño provocaba una interferencia entre el perfil fijo de la espalda y la espalda física del usuario, llegando en un punto extremo a presionar al operario.

Finalmente este modelo fue descartado no solo por el problema de la interferencia comentado, sino por el hecho de que el diseño presentaba muy poca versatilidad y no llegaba a ser eficiente para la función estimada.

6.3.3. Tercer modelo

En este modelo se buscó solventar los problemas de poca versatilidad e interferencias que presentaba el anterior. De esta manera, se modificó el eje de giro de la espalda y se hizo solidario a esta el asiento del exoesqueleto. Primeramente se realizó un pequeño estudio de la mecánica del movimiento realizado al agacharse con el objetivo de determinar aproximadamente el eje de giro de la columna de una persona. Con este dato, se estableció el diseño de un asiento íntegro con giro respecto un punto situado por encima de la cadera de una persona sentada. Además se incorporó un actuador al diseño que ejercía la fuerza necesaria para el giro sin la asistencia del operario.



Figura 72. Asiento con giro asistido por actuadores rotativos.

Así se aumentó la versatilidad del diseño, haciéndolo más reducido, eficiente en términos de fuerza requerida por el actuador para aportar verticalidad al asiento, y sin el problema de las interferencias con el usuario.

Por el contrario, este diseño carecía de graduación de altura del asiento. Aspecto necesario para contemplar el amplio rango posible de estaturas de operarios, y las cuales resultan extremadamente relevantes para el uso del exoesqueleto. Por tanto se presentaba el problema de la adaptabilidad del exoesqueleto a sus posibles usuarios. Además el nuevo diseño conllevaba una serie de complicaciones constructivas, determinantes para la fase de fabricación del exoesqueleto y las cuales encarecían el diseño.

6.3.4. Modelo final

Como propuesta final a este componente fundamental en la estructura del exoesqueleto se optó por un cambio de idea radical. En primer lugar se suprimió la posibilidad de giro del asiento, ya que con la longitud adecuada de los brazos del exoesqueleto y permitiendo que el operario se agache, se lograba alcanzar los objetos situados en el suelo sin necesidad del movimiento de agacharse del operario. Además de este cambio, se expuso la opción de realizar un perfil hueco y continuo en la columna, y acoplado a este en su parte frontal, el asiento mediante una unión atornillada. En esta distribución, el asiento es el que puede regular su altura mediante una abrazadera de presión situada bajo éste. Puesto que el asiento solo soporta el peso del usuario, la regulación de la altura del mismo no supone ningún tipo de problema de resistencia ni de elevada concentración de tensiones. A su vez, el perfil de la columna queda libre de cualquier tipo de división, aportándole más resistencia estructural y robustez. Sus dimensiones vienen justificadas por los esfuerzos que debe de ser capaz de resistir durante la operación.

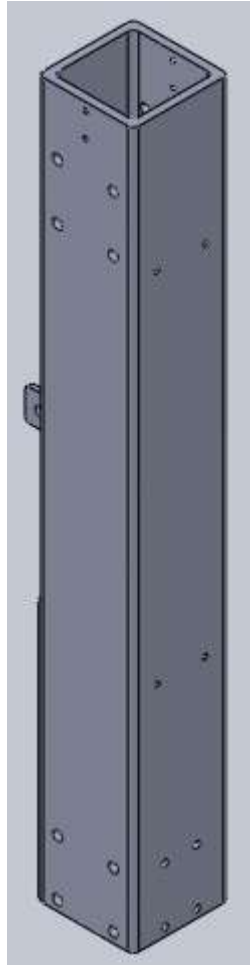


Figura 73. Perfil de la columna.

Con este diseño definitivo se logra paliar los problemas presentes en los diseños anteriores. Por un lado, se logra una máxima sencillez del diseño resumiendo el mismo a un perfil tubular cuadrado continuo y se evita la necesidad del giro de la columna en el uso del exoesqueleto. Por otro lado se alcanza una alta adaptabilidad de las medidas del exoesqueleto al operario, contribuyendo a su vez a la comodidad, ergonomía y eficiencia del diseño en cuanto al hecho de que el hombro humano se sitúe junto al hombro mecánico.

Igualmente, se dota a la espalda de dos orejas de soporte por su parte posterior, para el acople con el actuador encargado de subir y bajar el conjunto espalda-brazos. Con ello se logra un alto rendimiento de compacidad entre los componentes del exoesqueleto, que tal y como se planteó en un inicio, estará destinado a trabajar en muchas ocasiones en lugares reducidos. Por ello el espacio ocupado por el mismo es crucial. La figura 74 muestra los elementos mencionados.

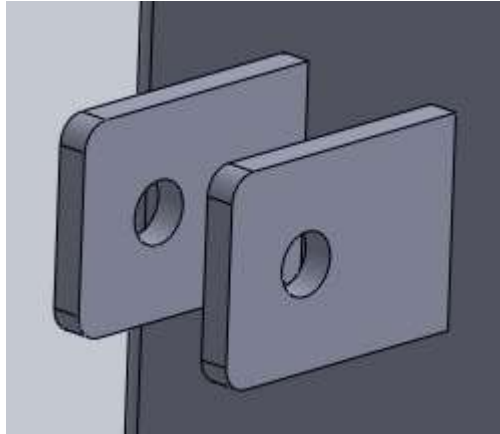


Figura 74. Orejas soldadas a la columna.

Independientemente a este perfil de la columna, se ha diseñado el apoyo de la espalda con el que se aporta estabilidad y ergonomía al asiento del exoesqueleto. La columna junto al apoyo de la espalda se muestran en la figura 75.

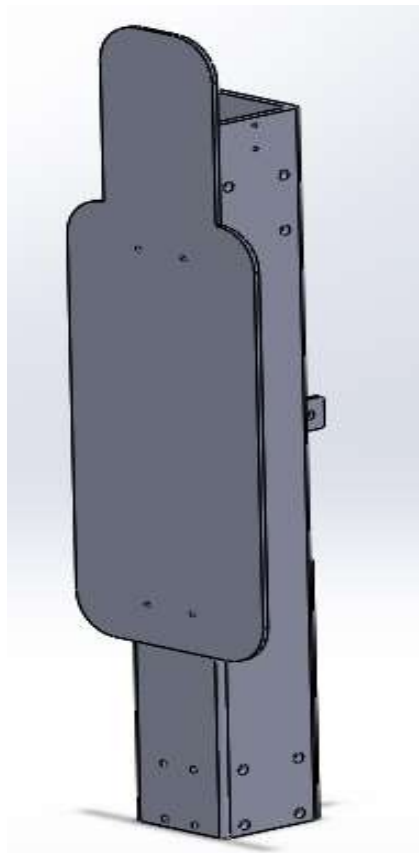


Figura 75. Situación del respaldar con respecto al perfil de la columna.

6.4. Unión física de la espalda con la base del exoesqueleto

Al tratarse esta parte del diseño de una de las interferencias entre proyectos del conjunto del proyecto global del exoesqueleto, el diseño final ha sido calculado y estudiado conjuntamente entre ambos grupos de trabajo. No obstante, la evolución de las diferentes propuestas hasta llegar al modelo final se ha llevado de manera independiente para seguidamente, estudiar todas las iniciativas de cada grupo y llegar a un consenso con el diseño más apropiado al conjunto del exoesqueleto.

6.4.1. Primer modelo

Inicialmente se pretendía encontrar un sistema de transmisión de movimiento lineal, que con unas determinadas variaciones o adaptaciones, fuese capaz de incorporarse perfectamente al, en aquel entonces, presente diseño. El sistema planteado consistía en el uso de rodamientos lineales que se deslizarían sobre unas guías circulares unidas a la base del exoesqueleto. La fuerza necesaria para elevar el conjunto espalda-brazos sería aportada por un actuador dispuesta debajo del conjunto, a modo de gato hidráulico.

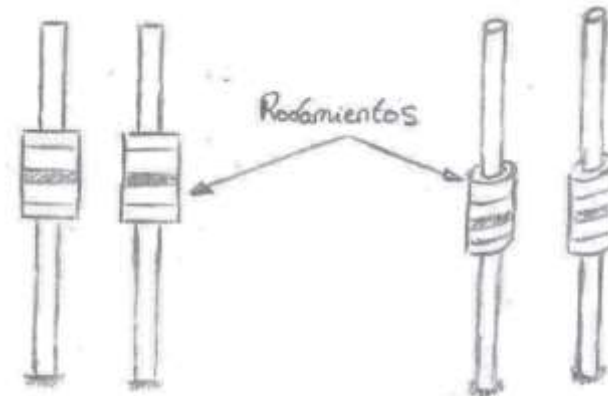


Figura 76. Esquema de montaje de los rodamientos.

La propuesta presentaba una elevada sencillez en diseño y cálculo del mismo. Además, se contaba con una extensa variedad de guías y rodamientos comerciales a disposición.



Figura 77. Rodamientos.

Por el contrario, este sistema de movimiento lineal presentaba varios inconvenientes. Primeramente, este tipo de rodamiento es muy costoso, ya que se trata de un mecanismo muy preciso compuesto por materiales de alta calidad. Este factor es otra desventaja notable para el diseño ya que al estar formado por componentes de tan reducido tamaño, su uso implica un elevado grado de limpieza y lubricación. La ausencia de estas condiciones de trabajo, provocarían el mal funcionamiento e incluso la rotura de los rodamientos debido su bloqueo por suciedad.

Desde el punto de vista de resistencia estructural, esta configuración conlleva un caso de inestabilidad estructural frente a momentos flectores respecto el eje de las guías verticales, producidos por efectos dinámicos o movimientos bruscos de los brazos del exoesqueleto con carga tal y como se muestra en la figura 78.

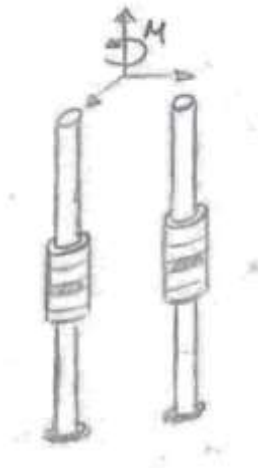


Figura 78. Momento más desfavorable para el sistema.

Puesto que son dos barras paralelas dispuestas verticalmente, la inercia resistente frente a momentos flectores fuera de su dirección de máxima inercia (momento flector respecto al eje perpendicular al eje de la barra) supone una extrema vulnerabilidad.

Además la incorporación de este sistema de movimiento lineal supondría el diseño de una estructura complementaria a estos que hiciese de nexo entre los rodamientos y la espalda. Los rodamientos, al tratarse de elementos comerciales estándares, carecen de soportes o sistemas de sujeción utilizable en el presente proyecto. Por ello, esta estructura de unión entre rodamientos y espalda se presentaría como un problema de diseño.

6.4.2. Segundo modelo

En este tercer modelo se recurrió a otro tipo de configuración que aportaba determinadas ventajas estructurales. Se optó por un tipo de sistema de movimiento lineal formado por conjunto de soporte móvil y guía fija para el movimiento. El soporte móvil cuenta con un par de rodillos dispuestos con un ángulo relativo entre ellos de manera que la guía tiene que tener un perfil trapezoidal donde se apoyan estos rodillos inclinados.



Figura 79. Guías lineales y carrito tipo 1.

Esta característica del sistema de movimiento permite la restricción de movimientos transversales en el plano de deslizamiento del soporte.

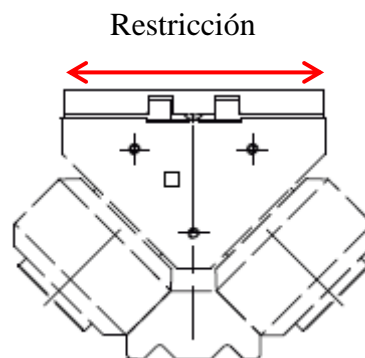


Figura 80. Ilustración de las restricciones del movimiento.

Puesto que se trata de sistemas de movimientos pesados, están diseñados para trabajar con elevadas cargas en cualquier tipo de ambiente de trabajo, por lo que se evita el problema de debilidad estructural e influencia de la suciedad existente en los modelos anteriores

Con la configuración estudiada, en la que se dispondrían dos pares de soportes enfrentados en dos alturas diferentes, se consigue paliar el problema proveniente de los momentos torsores debidos a efectos dinámicos y se logra transformar los momentos

flectores existentes en el uso del exoesqueleto en fuerzas de corte en los tornillos de fijación a los mismos.

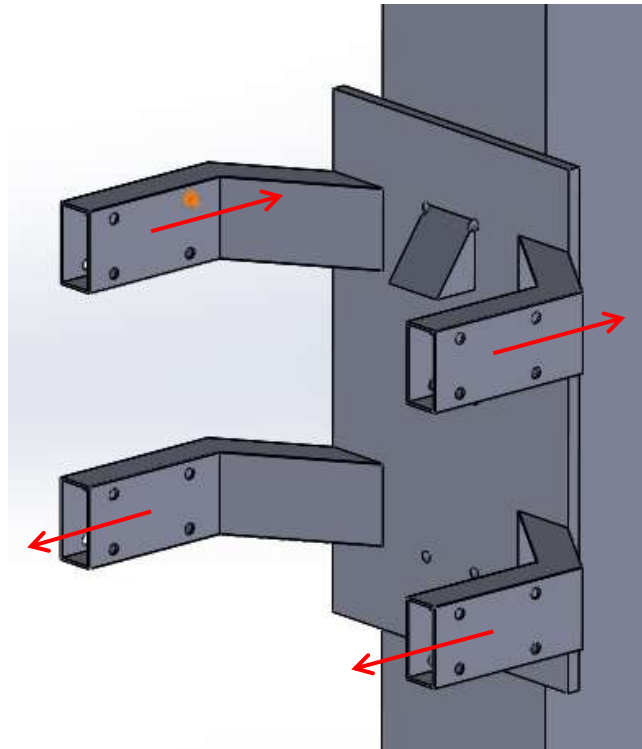


Figura 81. Fuerzas generadas con la disposición de las guías tipo 1 tomada

Esta nueva propuesta únicamente presentaba el problema de una estructura adicional que uniera los soportes móviles con la espalda, la cual debería de ser lo suficientemente resistente para transmitir los esfuerzos correspondientes. Además, el costo de estos sistemas de movimientos de alto rendimiento y calidad era elevado.

6.4.3. Modelo final

Como modelo final a este componente del exoesqueleto se determinó, tras una decisión conjunta entre los grupos de la base del exoesqueleto y la espalda, un sistema de movimiento lineal muy similar al del modelo previo pero con la ventaja de su menor precio. Esta propuesta final consta de un soporte móvil y una guía lineal, que acoplados mediante una placa metálica al perfil columnar, se une a un perfil tubular cuadrado proveniente de la base.

Además de la virtud de su reducido precio, este sistema ofrece la posibilidad de una unión directamente con la espalda, sin necesidad de estructuras complementarias

complejas y voluminosas. Esta configuración es posible por el movimiento restringido que ofrece este tipo de soporte móvil, ya que únicamente permite el movimiento lineal en la dirección de la guía gracias a sus características geométricas.



Figura 82. Carritos tipo 2.

El cálculo, resistencia y configuración se especifican más detalladamente en el anexo “Cálculo de las solicitaciones sobre las guías lineales de la espalda”.

Para la instalación de este sistema de movimiento lineal se recurrió al diseño de una placa metálica que transmita los esfuerzos de la columna del exoesqueleto a la base del mismo. Para ello, tal y como se muestra en la figura, se dispusieron dos pares de soportes móviles a diferentes alturas con el objetivo de, además de soportar los esfuerzos previsibles con el uso del exoesqueleto, soportar cualquier tipo de esfuerzo no previsto en un plano diferente al contenido por los momentos flectores de la carga de trabajo.

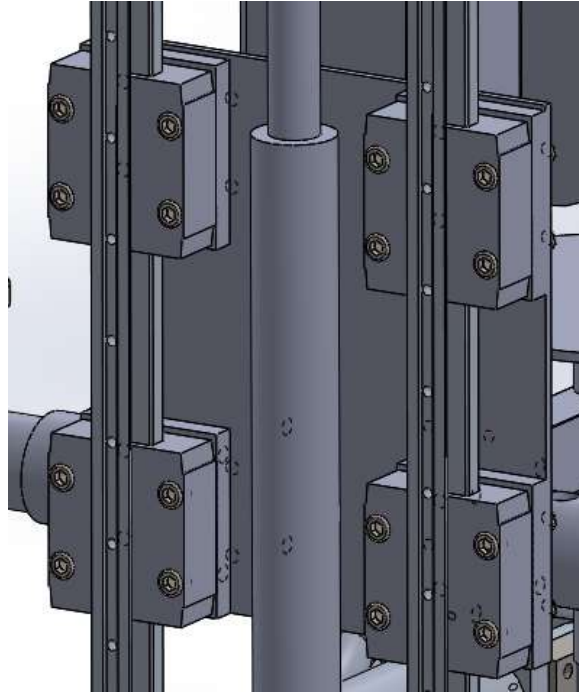


Figura 83. Situación de las guías lineales y carrillos tipo 2.

La placa metálica elegida dispondrá de una serie de orificios destinados a la unión atornillada de los soportes móviles a esta.

Respecto a la unión de esta placa con la columna del exoesqueleto, se ha recurrido a la unión soldada por la gran fiabilidad y resistencia que esta ofrece para esta unión crítica y para la integridad estructural del exoesqueleto en conjunto.

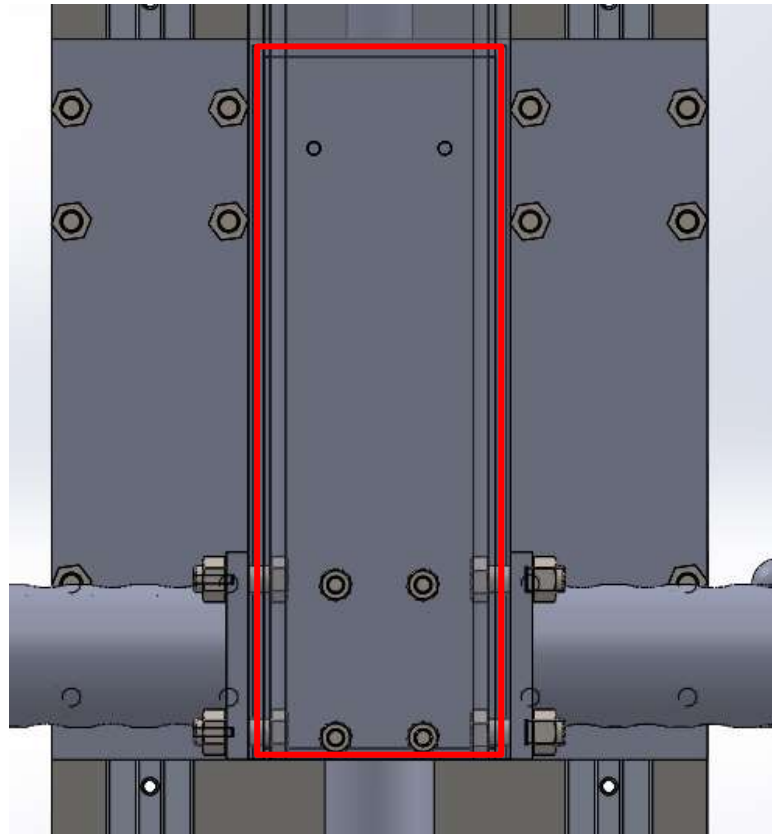


Figura 84. Unión de la placa con el perfil columnar.

Complementariamente a esta placa, el diseño cuenta con unas chapas metálicas a modo de separadores. La función de estas es la de separar los soportes móviles de la placa metálica para que entre esta y la placa enfrentada perteneciente al proyecto de la base del exoesqueleto, pueda alojarse el actuador que dota al conjunto de espalda-brazo de movimiento ascendente y descendente. Estos separadores están provistas de orificios pasantes, siendo estos la unión de los separadores con los soportes móviles y la placa metálica. En la siguiente imagen se muestra la situación del actuador y las placas separadoras comentadas.

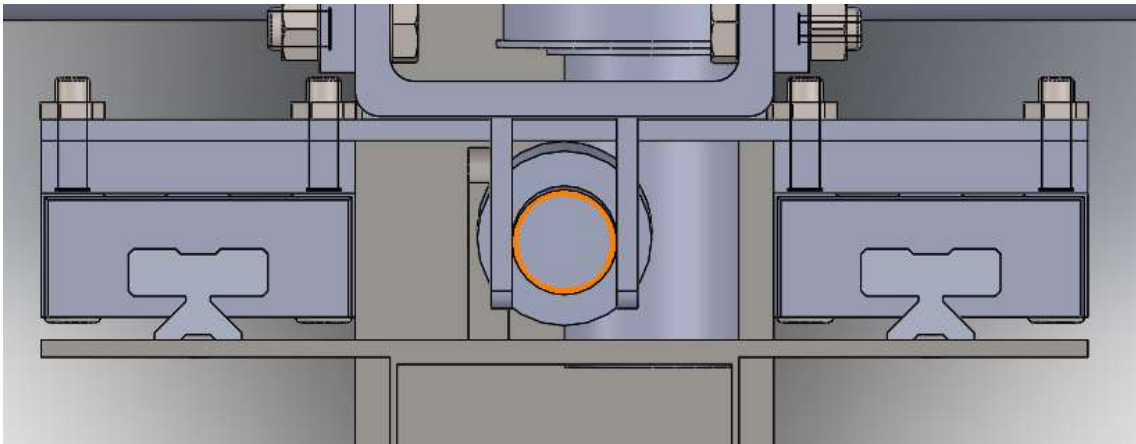


Figura 85. Situación del actuador y las placas separadoras.

6.5. Asiento del exoesqueleto

Puesto que la evolución de este componente del exoesqueleto ha ido paralela a la columna del exoesqueleto, en este apartado se explicará más en profundidad las diferentes características y geometrías del modelo final del asiento, siendo además en este último modelo en el que la columna del exoesqueleto se independiza del concepto del asiento.

6.5.1. Modelo final

En este modelo definitivo del asiento del exoesqueleto, se diferencia éste del resto del exoesqueleto como una estructura anexa al mismo. Esta independencia no solo dota al conjunto del exoesqueleto de intercambiabilidad y fácil desglose de sus componentes, sino que tal y como se ha comentado anteriormente, permite la regulación de altura del mismo.

El conjunto del asiento cuenta con un sillín sujeto por una tija (perfil tubular de soporte) y retenido por una abrazadera de presión. Esta tija deslizará dentro de otro perfil tubular unido a la columna del exoesqueleto mediante una unión atornillada. La unión del perfil cuadrado situado entre la unión atornillada y el perfil tubular que soporta la tija a los correspondientes componentes próximos, se realiza mediante una unión soldada. A continuación la figura 86 muestra el conjunto con los diferentes componentes.

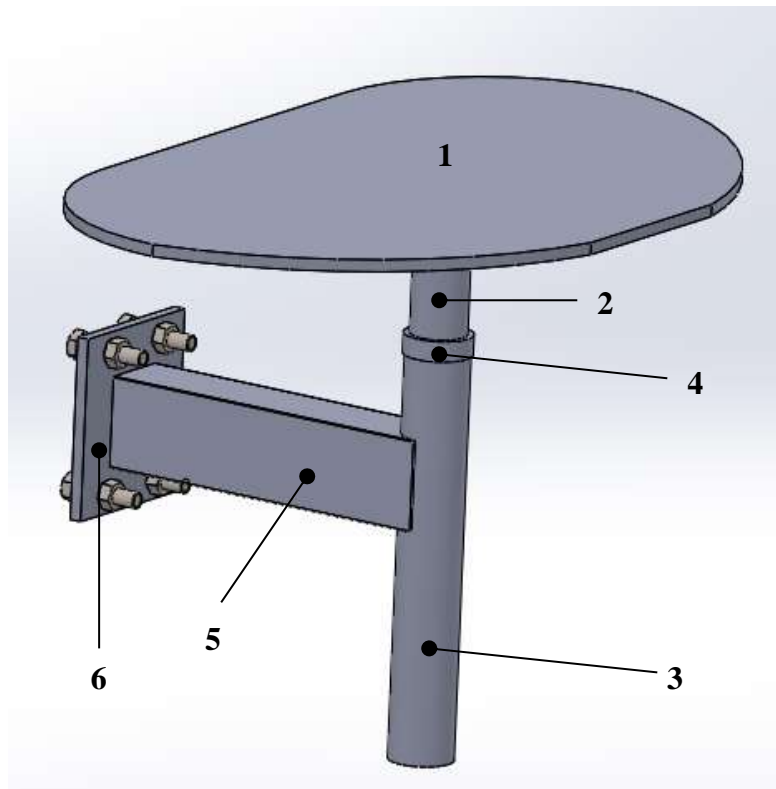


Figura 86. Componentes de la estructura del asiento.

Nº Identificativo	Componente
1	Base del asiento
2	Tija del asiento
3	Perfil tubular de soporte
4	Abrazadera
5	Perfil tubular de nexo
6	Placa de unión

Tabla 21. Componentes de la estructura del asiento.

Respecto a las uniones de los diferentes componentes entre sí, se ha optado por la solución de una unión soldada, ya que además de sencilla, aporta fiabilidad y resistencia. Se realizarán uniones soldadas alrededor de todo el perímetro de los perfiles en contacto entre las piezas 5-6, 5-3, 2-1.

Las dimensiones más relevantes se describen en el estudio antropométrico correspondiente al asiento del exoesqueleto. De igual manera, las características

geométricas del conjunto se muestran más detalladamente en el anexo “Análisis de la estructura del asiento”.

La abrazadera de presión será una abrazadera comercial de cierre rápido para su uso en bicicletas. El material de la abrazadera es aluminio y los componentes internos del cierre son de acero. No se presentan problemas de oxidación ya que no se produce un par galvánico entre ambos metales. Según los índices anódicos de ambos, la diferencia galvánica entre ellos es inferior al 0.25 V (para ambientes de trabajo expuestos o no a la intemperie), por lo que se considera una total compatibilidad entre ambos.



Figura 87. Abrazadera comercial.

Se podrá disponer de una junta plástica entre la abrazadera y la tija para un futuro desgaste del conjunto debido al uso del exoesqueleto. Con esta junta, no solo se aumentará la fricción entre ambos componentes fijando más fuertemente la altura del asiento, sino que se podrán evitar posibles ruidos molestos producidos por las vibraciones del uso. Con el mismo objetivo, se podrá disponer de una arandela plástica entre la abrazadera y el perfil tubular de soporte donde asienta la abrazadera.

La configuración de tornillos establecida ha sido definida por diferentes condicionantes, como la necesidad de reducir la distancia entre tornillos en la dirección Y de la placa para evitar la interferencia con los tornillos de sujeción de las estructuras de soporte del actuador y del brazo, dispuestas a ambos lados del perfil de la columna a la misma altura que la unión del asiento a la columna. Los demás factores se exponen en el anexo “Dimensionado de los tornillos”.

6.6. Estructura de seguridad

6.6.1. Primer modelo

En primera instancia, la estructura de seguridad se planteó no solo para evitar la caída de objetos sobre el operario, sino también para evitar la caída de éste en caso de una frenada brusca. De este modo, el sistema de seguridad actuaría al mismo tiempo de barrera física contra cualquier objeto que pudiera dañar al operario y de sujeción para evitar que éste se levante o caiga durante el encendido de la máquina. Por ello, se planteó una estructura móvil, la cual debería de situarse bien detrás o sobre el asiento del operario, y que pudiese bajarse una vez el operario estuviese sentado. Principalmente, este modelo fue desechado por no requerir el exoesqueleto de un sistema de seguridad tan sofisticado, ya que las velocidades alcanzadas por éste son relativamente bajas, y como consecuencia las situaciones de frenado brusco inexistentes. La figura 88 muestra un boceto del sistema a emplear.



Figura 88. Boceto de exoesqueleto con estructura de seguridad móvil.

6.6.2. Segundo modelo

Como consecuencia de los motivos por los cuales se desechó el modelo anterior, se planteó una estructura que únicamente actuase de barrera física ante la caída de un objeto sobre el operario. Para su diseño, se estudió la antropometría craneal, de modo que la estructura tuviese unas dimensiones tales que, sin causar sensación de encerramiento al operario, estuviese situada en la posición óptima. La estructura constaría de un perfil rectangular, al cual iría soldado otro perpendicular a éste, al cual, por cada lado, se le soldaría uno en dirección vertical. Para su sujeción, esta se soldaría al perfil de la espalda, en la cara interior más próxima al operario. La figura 89 muestra la estructura diseñada.

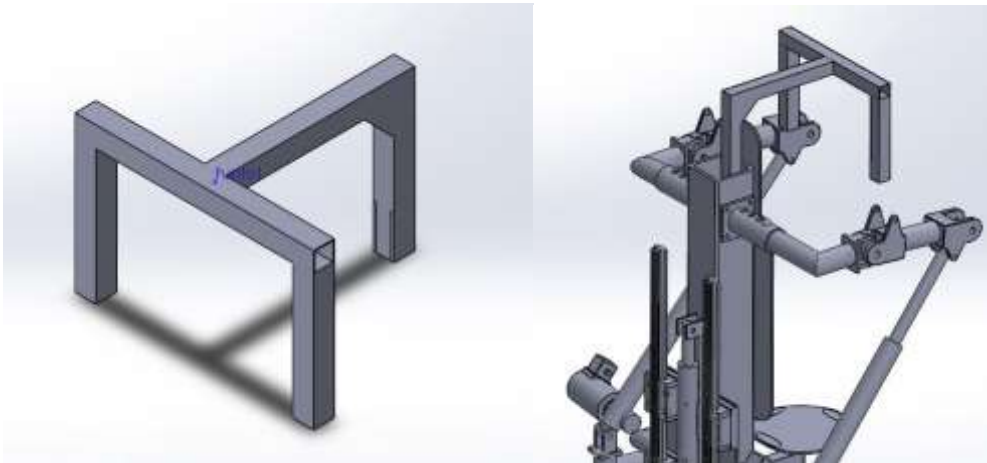


Figura 89. Estructura de seguridad fija inicial (izquierda) y su situación (derecha).

A pesar de que éste modelo fue considerado como solución final, la posible inestabilidad de la estructura al estar únicamente sujeta por un perfil, hizo que se planteasen modificaciones para mejorar su estabilidad.

6.6.3. Modelo final

Con el objetivo de mejorar la estabilidad del sistema anteriormente citado, se decidió añadir un elemento de sujeción adicional, estando en este caso la estructura atornillada a los laterales del perfil de la columna, en lugar de soldada al interior de éste. De esta forma, no solo se consigue una mayor estabilidad ante cargas imprevistas, sino que se permite el retiro de la estructura de manera sencilla y cómoda en caso de un posible defecto de ésta.

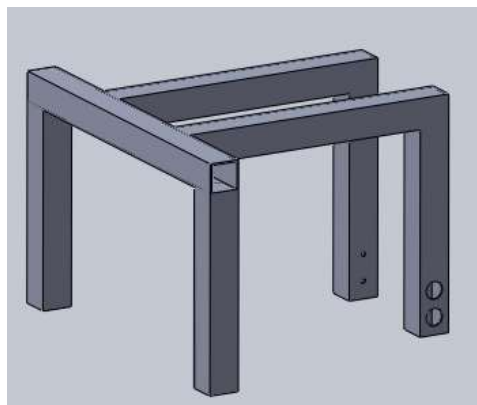


Figura 90. Modelo final de la estructura de seguridad.

Las dimensiones de la estructura vienen justificadas por las dimensiones de perfiles comerciales disponibles, así como por los estudios antropométricos explicados en apartados anteriores del presente proyecto.

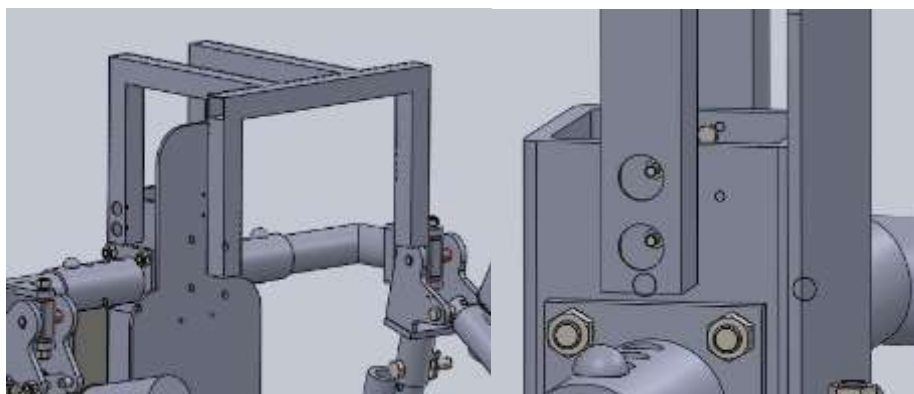


Figura 91. Localización de la estructura de seguridad final (izquierda) y sistema de sujeción (derecha).

7. Resultados finales

En el presente apartado se ensamblan cada uno de los modelos finales expuestos en el análisis de soluciones con el objetivo de ver la funcionalidad y configuración del conjunto de componentes del torso del exoesqueleto.

7.1. Estructura del hombro y soporte del actuador

Se dispone de la estructura del hombro y del soporte del actuador del brazo en el mismo plano vertical. La distancia existente entre el eje del hombro y el eje de apoyo del actuador en la estructura soporte del mismo es de 70 cm, tal y como condiciona la longitud del perfil de la columna que se añadirá al conjunto en los siguientes apartados.

Siendo dos estructuras físicamente independientes, la dependencia funcional que mantienen es crucial para el correcto funcionamiento del exoesqueleto. Ambas estructuras trabajan simultáneamente y coordinadamente con los demás componentes del exoesqueleto, siempre dentro de los límites de movimientos descritos en el presente proyecto.

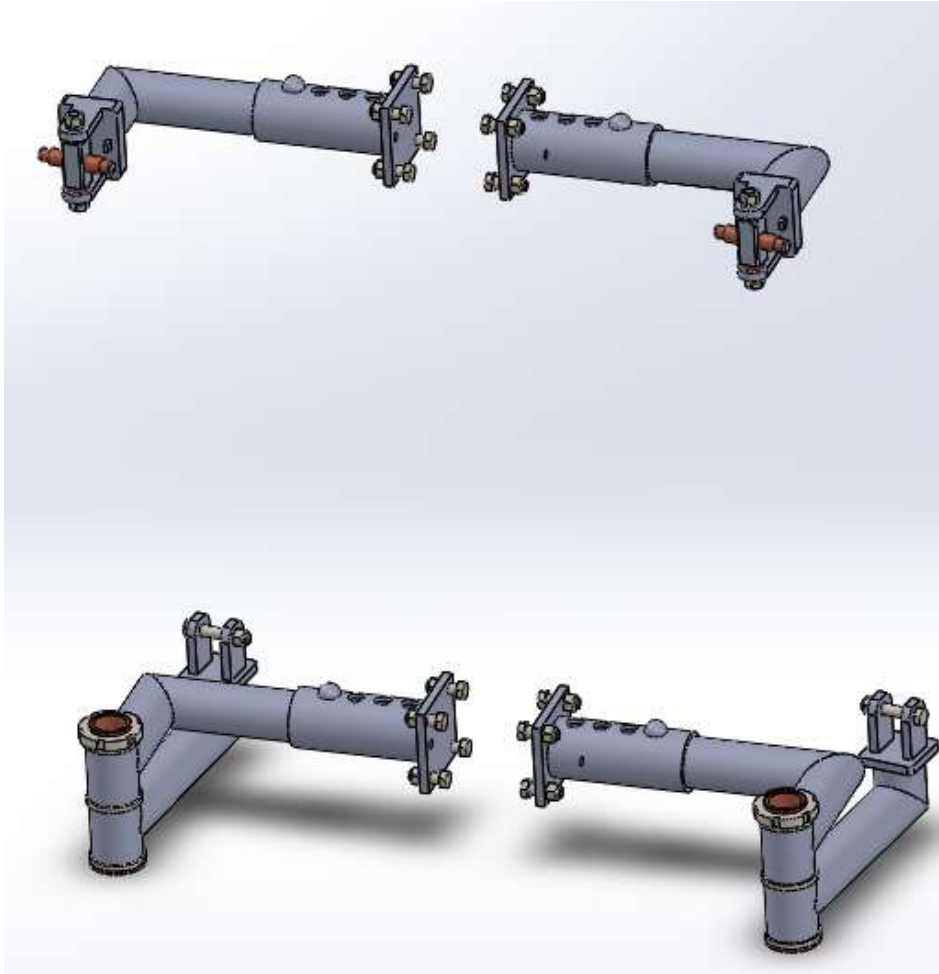


Figura 92. Estructuras del hombro (superiores) y de soporte (inferiores) para ambos brazos.

7.2. Sistema de subida y bajada del brazo

Como nexo de unión entre estructura del hombro y el soporte del actuador se encuentra el propio actuador lineal descrito en el presente proyecto. Este cuenta con las dimensiones necesarias para, mediante su acción, alcanzar todos los alcances de movimientos descritos anteriormente.

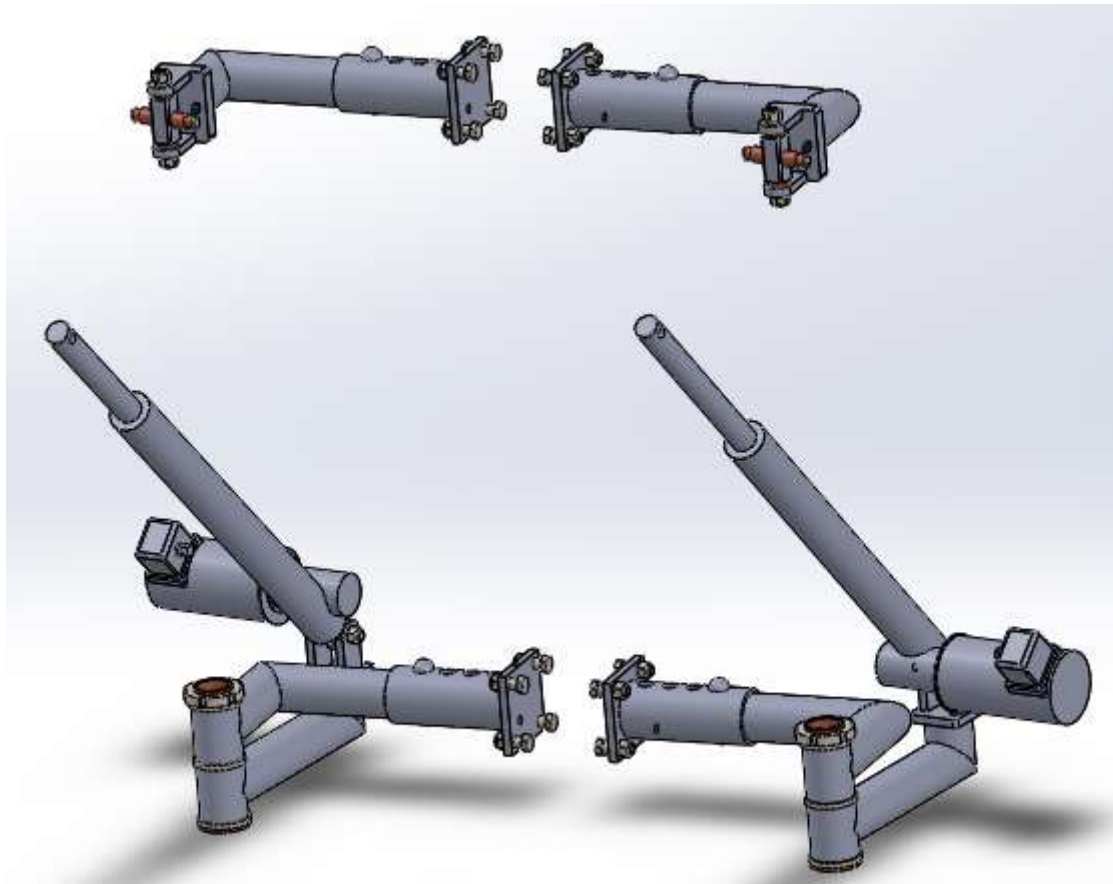


Figura 93. Estructuras del hombro y soporte con actuador.

Análogamente, estos actuadores, que dotan de movimiento al conjunto del brazo, hacen unión con el conjunto de los brazos. Este conjunto al pertenecer a otro proyecto dentro del proyecto global del exoesqueleto, se ha tenido que coordinar junto al presente proyecto para la correcta compatibilidad y funcionamiento del exoesqueleto en conjunto.

A su vez, los brazos del exoesqueleto están unidos a la estructura del hombro mediante la articulación mecánica del hombro. La conexión de ambos proyectos se muestra en el apartado 7.7. “Ensamble conjunto de proyectos incluidos”, dentro este apartado.

7.3. Columna de la espalda

La columna hace de espina dorsal del exoesqueleto, transmitiendo los esfuerzos impuestos a través de toda la estructura hasta la base del exoesqueleto y soportando el estado de carga en conjunto.

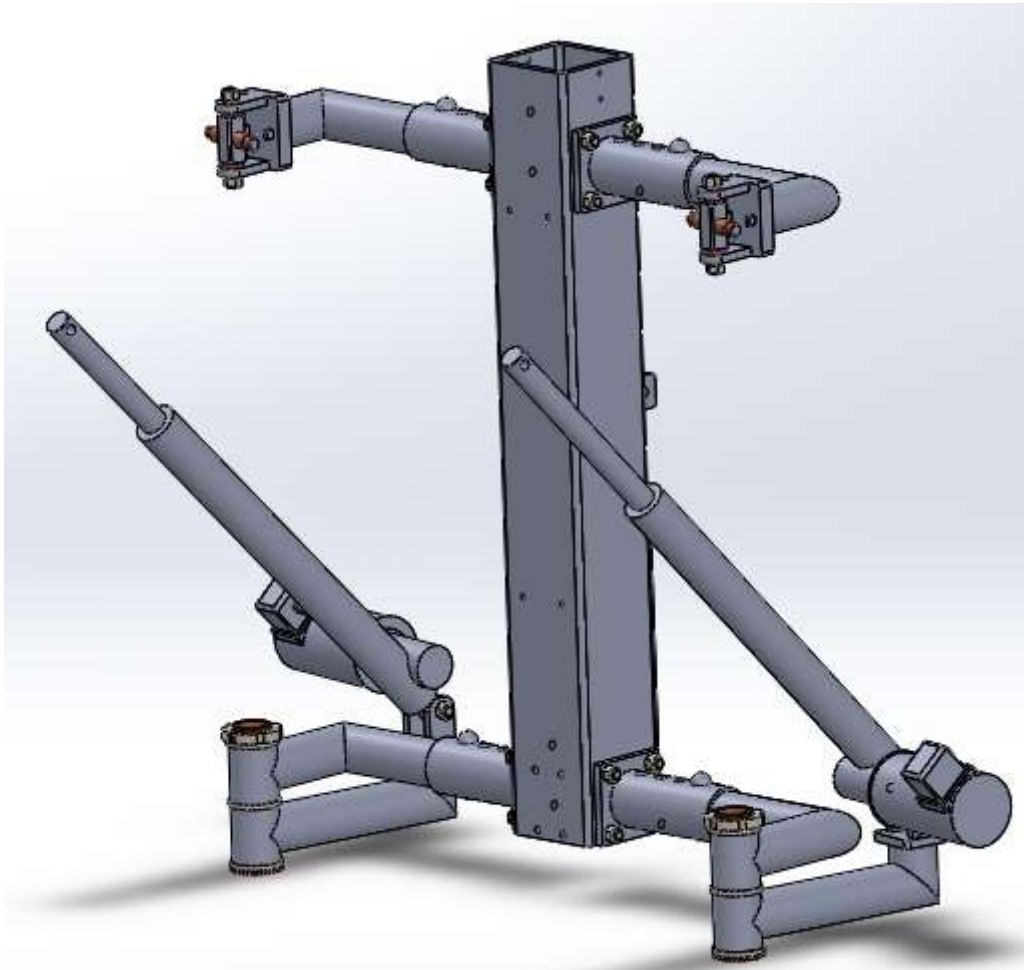


Figura 94. Estructuras del hombro y soporte con actuador y perfil columnar.

Paralelamente, la columna realiza la unión entre el conjunto espalda-brazo mediante el acople con el actuador lineal que aporta movimiento a la espalda. Estas configuración, al igual que en el caso de la unión con los brazos del exoesqueleto, se muestra en el apartado 7.7. “Ensamble conjunto de proyectos incluidos” al tratarse del otro proyecto encargado de la base del exoesqueleto.

Además se añadió el apoyo de la espalda para el operario a la columna. Este componente no tiene ninguna relevancia estructural para el diseño pero si cumple una función de suma importancia para la ergonomía, comodidad y seguridad del operario del exoesqueleto.

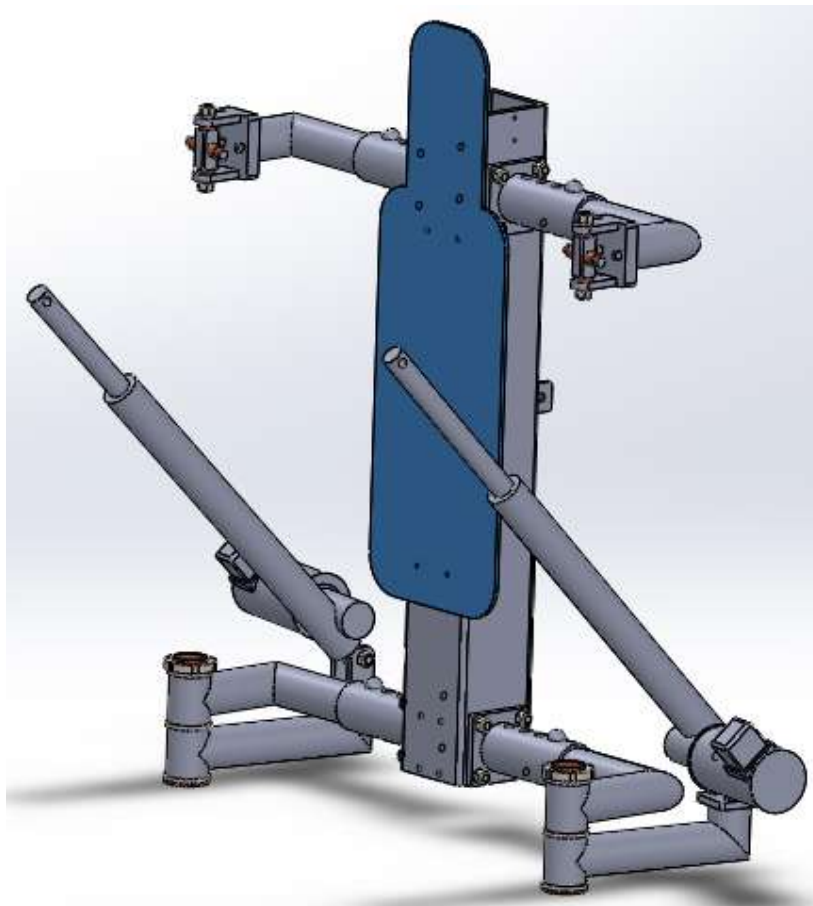


Figura 95. Estructuras del hombro y soporte, columna y actuador y respaldar.

7.4. Unión física de la espalda y la base del exoesqueleto

Esta unión, tal y como se describió, consta de una placa metálica con una serie de separadores con los que se fijan los soportes móviles que permiten el movimiento lineal ascendente-descendente del conjunto espalda-brazos. Esta placa se dispone unida solidariamente a la columna por su lado posterior.

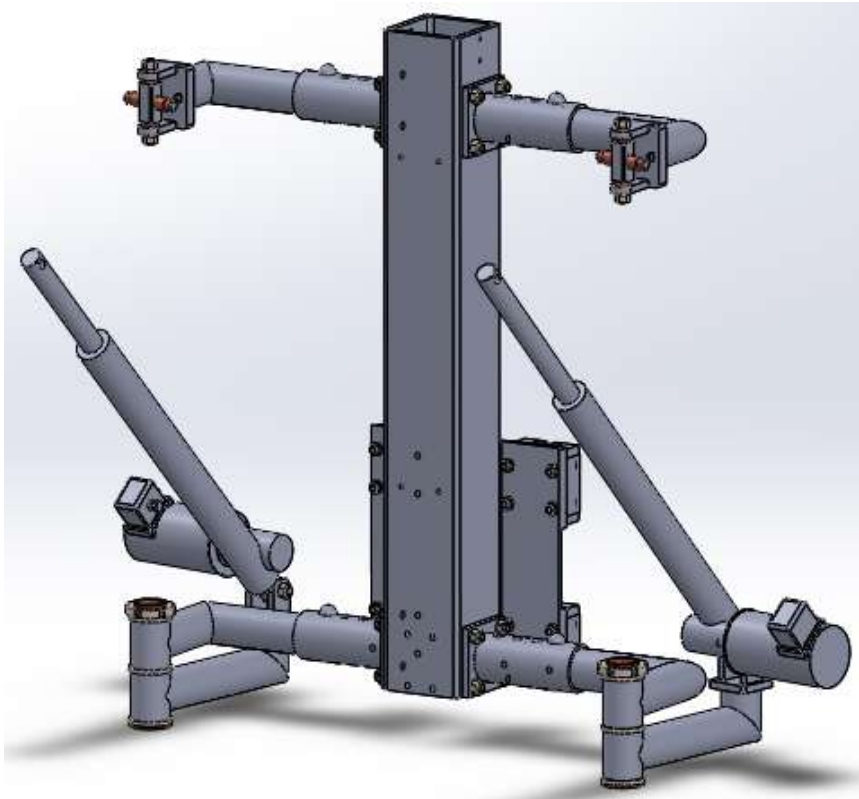


Figura 96. Situación de la placa de sujeción de los carritos sobre la columna, perspectiva 1.

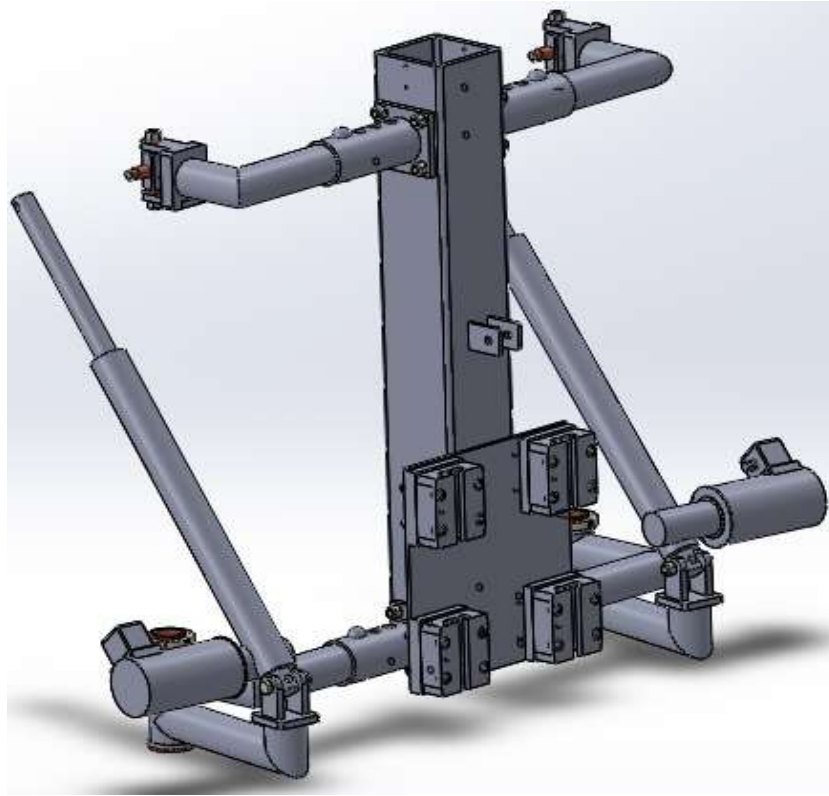


Figura 97. Situación de la placa de sujeción de los carritos sobre la columna, perspectiva 2.

Estos soportes móviles deslizan sobre unas guías lineales fijas a un componente perteneciente al proyecto de la base del exoesqueleto. Por ello, se muestra la unión en el apartado 7.7. “Ensamble conjunto de proyectos incluidos”.

7.5. Asiento del exoesqueleto

Se provee al exoesqueleto de un asiento para su uso. Este se sitúa en la cara frontal de la columna.

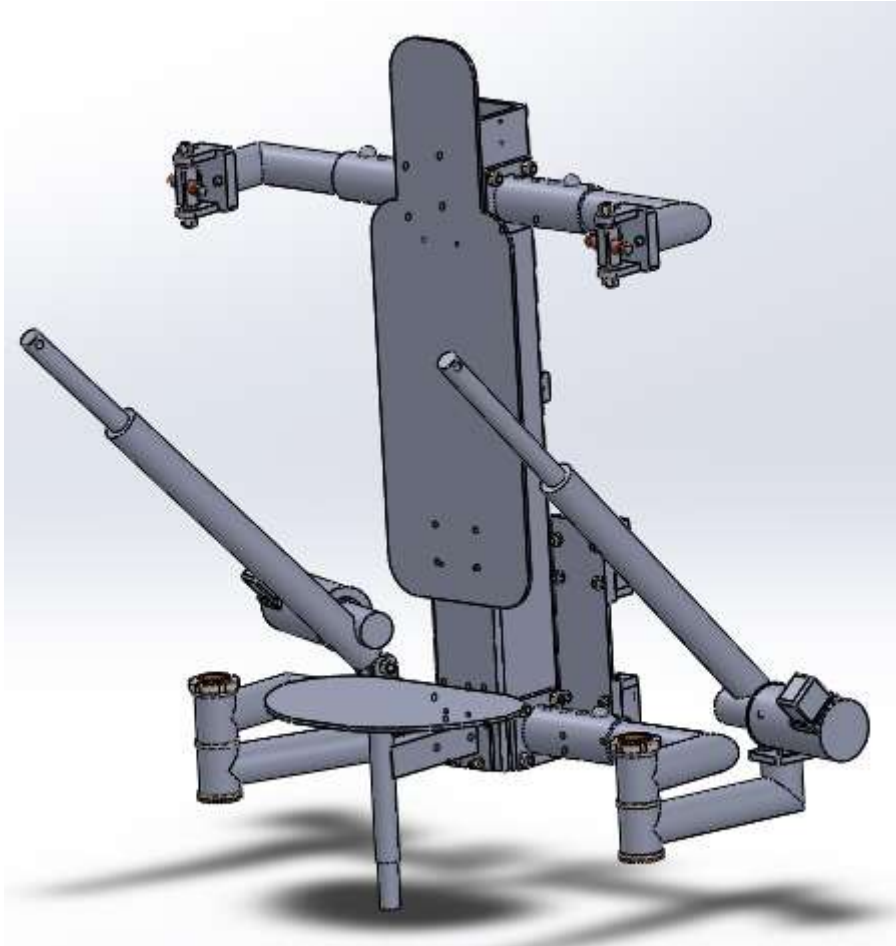


Figura 98. Situación de la estructura del asiento con respecto al resto de componentes.

Todas las dimensiones del asiento, han sido expuestas en el apartado del estudio antropométrico del mismo.

7.6. Estructura de seguridad

Se dota al exoesqueleto de una estructura de seguridad que proteja al operario frente cualquier tipo de caída de cargas en altura durante la utilización del exoesqueleto. Esta, además de aportar seguridad, no puede suponer una incomodidad en el uso del exoesqueleto ni interferir en la visión del operario durante el uso del exoesqueleto.

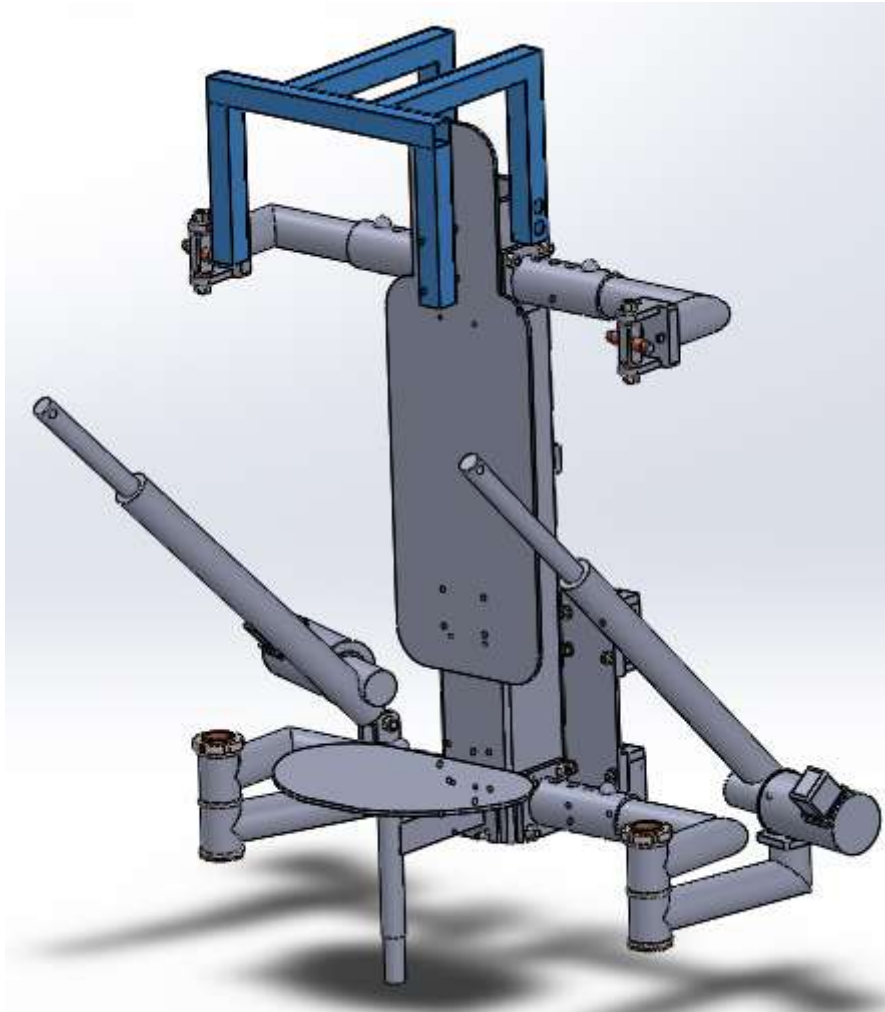


Figura 99. Situación de la estructura de seguridad con respecto al resto de componentes.

Finalmente, con la adición de la estructura de seguridad, el proyecto de la espalda del exoesqueleto queda totalmente definido.

La complejidad del proyecto no ha sido simplemente el diseño de los componentes aquí presentes, sino la coordinación entre proyectos para lograr una máquina en conjunto y

todo lo que ello incluye. Desde la adecuación de medidas entre piezas que puedan interferirse y el encaje de las mismas con las piezas de su entorno, hasta la gestión de un grupo de trabajo formado por los componentes de cada uno de los integrantes de cada proyecto.

Cabe mencionar que el presente modelo final compuesto por todos los componentes definitivos del torso del exoesqueleto, se presta a mejoras tanto de rendimiento como de economización del material.

7.7. Ensamble conjunto de proyectos incluidos

En este apartado, se ensamblan todos los componentes del proyecto global del exoesqueleto para conformar y definir completamente el mismo.

Se presenta de esta forma el exoesqueleto completo en cuestión.

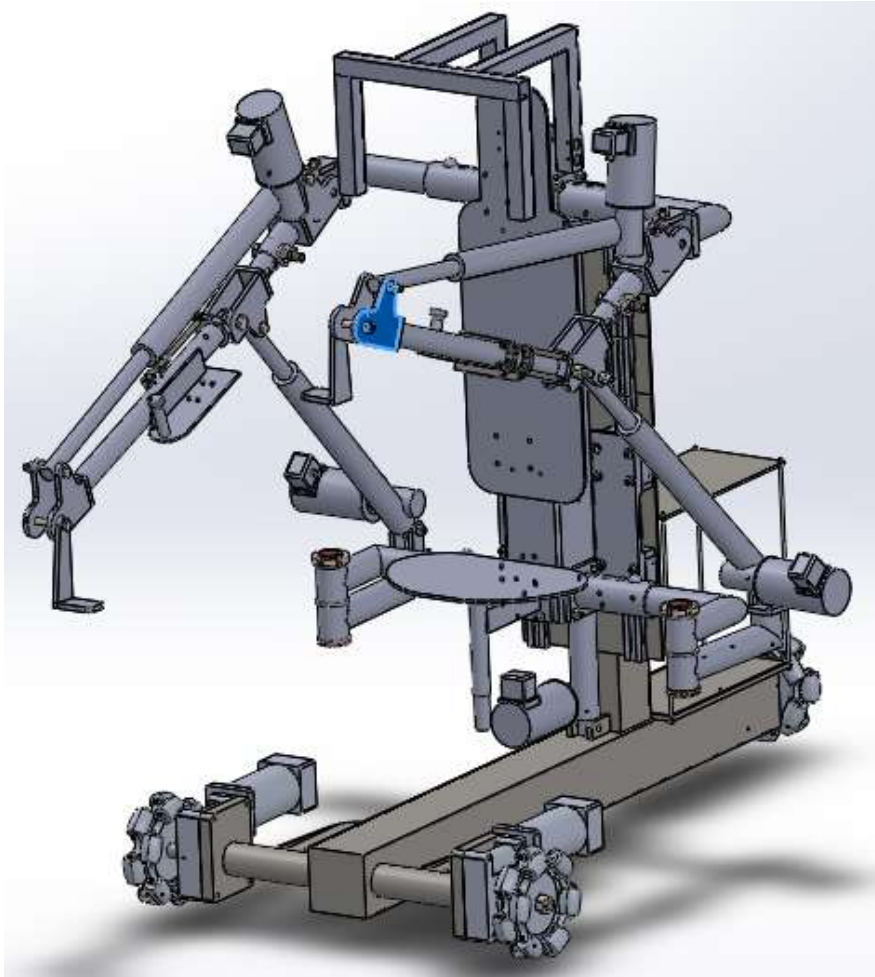


Figura 100. Exoesqueleto, perspectiva 1.

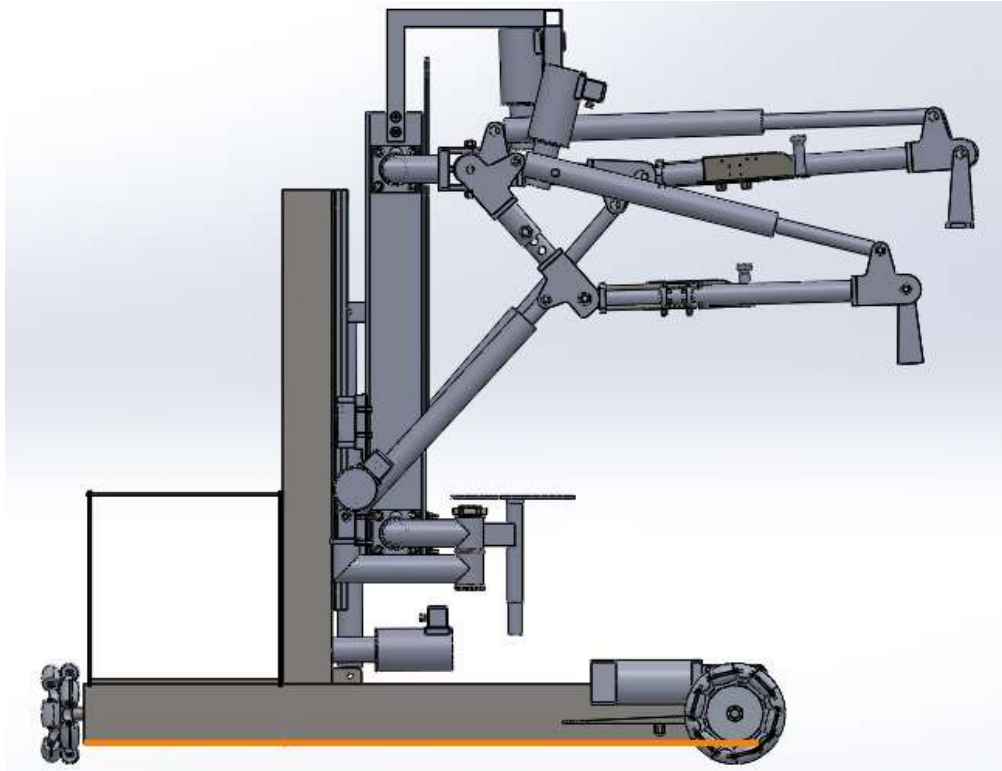


Figura 101. Exoesqueleto, perspectiva 2.

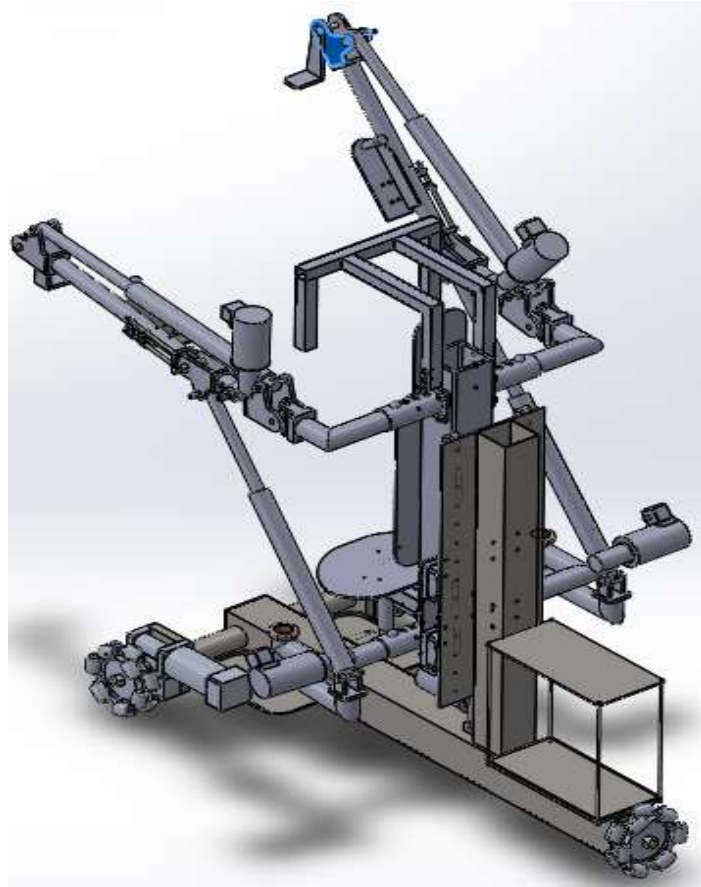


Figura 102. Exoesqueleto, perspectiva 3.

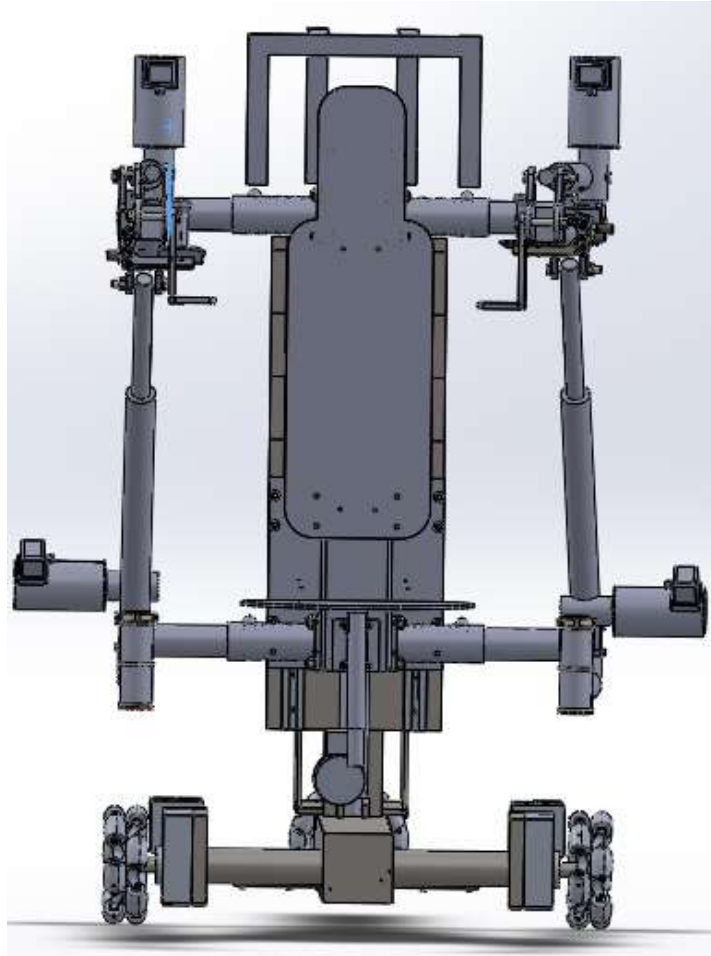


Figura 103. Exoesqueleto, perspectiva 4.

8. Conclusion

The present project along with the other two, arms and self-propelled base, defines the mechanical exoskeleton required to handle light/medium loads and to operate in reduced industrial areas. In this way the possibility for workers to suffer from back injuries will be reduced. As a requirement the exoskeleton must adapt to different user dimensions.

Regarding the study, the exoskeleton has been designed according to the maximum admissible strength for each material, attempting to achieve a low cost design through the use of commercial components and standard elements. As a result, the final structure proposed is considered to be the simplest and the most economical option among all designs analyzed.

The final design proposed in the project meets all the initial requirements above mentioned and solve all the design issues explained on it.

9. Índice de figuras

Figura 1. Incidencias (nuevos casos) de dolencias de espalda. Fuente: Health and Safety Executive.	11
Figura 2. Prevalencia de dolencias de la espalda. Fuente: Health and Safety Executive.	12
Figura 3. Tareas principales a las que se les atribuyen los casos de dolencia de espalda. Fuente: Health and Safety Executive.....	12
Figura 4. Acciones principales a las cuales se les atribuyen los casos de dolencia de espalda. Fuente: Health and Safety Executive.....	13
Figura 5. Subconjuntos en los que se divide el proyecto global. Perspectiva 1.	16
Figura 6. Subconjuntos en los que se divide el proyecto global. Perspectiva 2.	17
Figura 7. Interfaz brazo-espalda	19
Figura 8. Interfaz espalda-base.....	20
Figura 9. Ilustración de las diferentes partes de las que se compone un brazo.	22
Figura 10. Ilustración de las dimensiones mínima y máxima del brazo del exoesqueleto.	24
Figura 11. Ilustración de la distancia biacromial.....	26
Figura 12. Ilustraciones de las dimensiones mínima y máxima del exoesqueleto.	27
Figura 13. Ilustración de la distancia desde el eje del hombro del exoesqueleto hasta la columna.	28
Figura 14. Ilustración de las diferentes medidas antropométricas.....	29
Figura 15. Ilustración de las dimensiones mínima y máxima de la altura de la espalda del exoesqueleto.	31
Figura 16. Medidas antropométricas para diferentes sexos. Fuente: http://mueblesdomoticos.blogspot.com.es/2010/12/medidas-para-disenar-sillas-o-asientos.html	32
Figura 17. Distribución del peso al tomar asiento.	33
Figura 18. Dimensiones del asiento del exoesqueleto.....	34
Figura 19. Ilustración de la prominencia de las nalgas.....	35
Figura 20. Distancia entre el perfil de la columna y el asiento del exoesqueleto.....	35
Figura 21. Dimensiones del respaldar de la columna.....	36
Figura 22. Altura para los diferentes sexos sentado.	37

Figura 23. Distancia máxima entre el asiento y el extremo superior del respaldar del exoesqueleto.	38
Figura 24. Ilustración de las diferentes medidas de la cabeza y el cuerpo.	40
Figura 25. Dimensiones de una cabeza humana.	41
Figura 26. Cabeza humana en el interior de la estructura de seguridad.	41
Figura 27. Distancia máxima entre el asiento y la zona superior de la cabeza.	42
Figura 28. Situación de la cabeza con respecto al respaldar.	42
Figura 29. Distancia entre glúteo y rodillas. Fuente: Felisberto e Pascuoarelli (2001)..	43
Figura 30. Dimensiones de ancho de cadera para ambos sexos. Fuente: “Felisberto e Pascuoarelli (2001)”.	44
Figura 31. Separación interior entre los reposapiés.	45
Figura 32. Separación máxima entre los reposapiés.	45
Figura 33. Ángulo máximo del brazo bajo la horizontal.	46
Figura 34. Ángulo máximo del brazo sobre la horizontal.	47
Figura 35. Ángulo mínimo entre brazo y antebrazo.	48
Figura 36. Ángulo máximo entre brazo y antebrazo.	49
Figura 37. Ángulo máximo de apertura de los brazos.	50
Figura 38. Ángulo máximo de cierre de los brazos.	51
Figura 39. Punto muerto superior (PMS) y punto muerto inferior (PMI)	53
Figura 40. Medidas máximas para el exoesqueleto en vertical (izquierda) y horizontal (derecha) para el caso menos compacto.	54
Figura 41. Medidas máximas para el exoesqueleto en vertical (izquierda) y horizontal (derecha) para el caso más compacto.	55
Figura 42. Sistema de caja de engranajes.	56
Figura 43. Caja de engranajes preliminar.	57
Figura 44. Sistema por medio de un actuador angular.	58
Figura 45. Actuador lineal eléctrico ALI4.	59
Figura 46. Primer modelo del hombro.	60
Figura 47. Primer sistema móvil del brazo.	61
Figura 48. Vista de la estructura preliminar con brazo.	62
Figura 49. Sistema de corrección de excentricidades.	63
Figura 50. Funcionamiento del sistema de corrección de excentricidades.	63
Figura 51. Situación del sistema móvil del hombro.	64

Figura 52. Esquema de las cargas actuantes el sistema conjunto (izquierda) y separado (derecha).	65
Figura 53. Sistema con actuador lineal bajo el eje móvil del hombro.	66
Figura 54. Sistema con actuador hacia atrás.	67
Figura 55. Sistema de bisagra.	68
Figura 56. Primer modelo de estructura del hombro.	69
Figura 57. Modelo final de la estructura del hombro.	70
Figura 58. Horquilla con oreja desmontable.	71
Figura 59. Cilindro giratorio.	72
Figura 60. Buje de espesor variable.	72
Figura 61. Perno (izquierda) y perno con arandelas de sujeción (derecha).	73
Figura 62. Buje de bronce entre cilindro y perno.	73
Figura 63. Casquillos de bronce.	74
Figura 64. Detalle del sistema móvil del hombro (izquierda) y visualización de componentes (derecha).	75
Figura 65. Primer modelo de la estructura de soporte.	76
Figura 66. Modelo final de la estructura de soporte.	77
Figura 67. Buje de bronce (izquierda) y buje de bronce con tapa soldada (derecha).	78
Figura 68. Visualización de los componentes del modelo final del sistema de bisagra del soporte.	79
Figura 69. Buje de bronce de la horquilla (izquierda) y su situación (derecha).	80
Figura 70. Columna con posibilidad de curvatura.	81
Figura 71. Estructura de la columna con giro asistido por poleas.	82
Figura 72. Asiento con giro asistido por actuadores rotativos.	83
Figura 73. Perfil de la columna.	85
Figura 74. Orejas soldadas a la columna.	86
Figura 75. Situación del respaldar con respecto al perfil de la columna.	86
Figura 76. Esquema de montaje de los rodamientos.	87
Figura 77. Rodamientos.	88
Figura 78. Momento más desfavorable para el sistema.	89
Figura 79. Guías lineales y carrito tipo 1.	90
Figura 80. Ilustración de las restricciones del movimiento.	90
Figura 81. Fuerzas generadas con la disposición de las guías tipo 1 tomada.	91
Figura 82. Carritos tipo 2.	92

Figura 83. Situación de las guías lineales y carritos tipo 2.	93
Figura 84. Unión de la placa con el perfil columnar.	94
Figura 85. Situación del actuador y las placas separadoras.....	95
Figura 86. Componentes de la estructura del asiento.	96
Figura 87. Abrazadera comercial.....	97
Figura 88. Boceto de exoesqueleto con estructura de seguridad móvil.....	98
Figura 89. Estructura de seguridad fija inicial (izquierda) y su situación (derecha).	99
Figura 90. Modelo final de la estructura de seguridad.	100
Figura 91. Localización de la estructura de seguridad final (izquierda) y sistema de sujeción (derecha).....	100
Figura 92. Estructuras del hombro (superiores) y de soporte (inferiores) para ambos brazos.....	102
Figura 93. Estructuras del hombro y soporte con actuador.	103
Figura 94. Estructuras del hombro y soporte con actuador y perfil columnar.	104
Figura 95. Estructuras del hombro y soporte, columna y actuador y respaldar.	105
Figura 96. Situación de la placa de sujeción de los carritos sobre la columna, perspectiva 1.	106
Figura 97. Situación de la placa de sujeción de los carritos sobre la columna, perspectiva 2.	107
Figura 98. Situación de la estructura del asiento con respecto al resto de componentes.	108
Figura 99. Situación de la estructura de seguridad con respecto al resto de componentes.	109
Figura 100. Exoesqueleto, perspectiva 1.	111
Figura 101. Exoesqueleto, perspectiva 2.	112
Figura 102. Exoesqueleto, perspectiva 3.	113
Figura 103. Exoesqueleto, perspectiva 4.	114

10. Índice de tablas

Tabla 1. Identificación de los diferentes subconjuntos y trabajos en conjunto.	17
Tabla 2. Longitudes de brazo, antebrazo y mano para diferentes sexos. Fuente: Manual de Antropometría Normal Patológica, Pablo Lapunzina & Horacio Aiello, Ed. Masson	22
Tabla 3. Medidas antropométricas de diseño para el brazo.....	23
Tabla 4. Dimensiones mínima y máxima del brazo de exoesqueleto.....	24
Tabla 5. Diferentes posiciones de regulación del brazo del exoesqueleto.	24
Tabla 6. Distancia biacromial para los diferentes sexos. Fuente: Manual de Antropometría Normal Patológica, Pablo Lapunzina & Horacio Aiello, Ed. Masson..	25
Tabla 7. Medidas antropométricas de diseño para la distancia biacromial.	26
Tabla 8. Dimensiones mínima y máxima de distancia biacromial del exoesqueleto.	27
Tabla 9. Diferentes posiciones de regulación de la distancia biacromial del exoesqueleto.	28
Tabla 10. Altura desde la base de la espalda hasta los hombros para los diferentes sexos. Fuente: Felisberto e Pascuoarelli (2001)	29
Tabla 11. Medidas antropométricas de diseño para la altura de la espalda.....	30
Tabla 12. Dimensiones mínima y máxima de altura de la espalda del exoesqueleto.....	30
Tabla 13. Medidas antropométricas de referencia para la cabeza. Fuente: Felisberto e Paschoarelli (2001).....	39
Tabla 14. Rango dimensional de diseño entre glúteo y rodilla.	43
Tabla 15. Rango dimensional de la anchura de la cadera.....	44
Tabla 16. Limitaciones al movimiento de los brazos.	52
Tabla 17. Dimensiones de la estructura para el caso más compacto y el menos compacto.....	55
Tabla 18. Características del actuador seleccionado.	59
Tabla 19. Componentes del sistema móvil final.	75
Tabla 20. Componentes del modelo final del sistema de bisagra del soporte.	79
Tabla 21. Componentes de la estructura del asiento.	96

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

ANEXO I: CÁLCULOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

TÍTULO

DISEÑO DE UN EXOESQUELETO: TORSO

AUTORES

Fabián de León Mazariegos

Moisés Jiménez Rodríguez

TUTOR

Carmelo Militello Militello

Índice Anexo I

1.	Cálculo de la fuerza ejercida por el actuador del hombro para sostener una carga ..	7
1.1.	Objeto.....	7
1.2.	Definición de los componentes del sistema.....	7
1.3.	Definición de parámetros definidos por el usuario.....	9
1.4.	Definición del sistema estático.....	10
1.5.	Definición de parámetros geométricos.....	11
1.5.1.	Cálculo del ángulo θ	12
1.6.	Cálculo de momentos.....	13
1.6.1.	Momento ejercido por la carga Q y F_G	13
1.6.2.	Momento ejercido por el actuador en Y	14
1.6.3.	Momento ejercido por el actuador en X.....	15
1.7.	Cálculo de la fuerza ejercida por el actuador.....	15
1.8.	Cálculo de las reacciones en el hombro.....	16
1.9.	Resultados de cálculo.....	17
2.	Cálculo esfuerzos sobre guías lineales de la espalda	20
2.1.	Objeto del anexo	20
2.2.	Esquemas de cargas	20
2.3.	Cálculo de los esfuerzos aplicados	24
2.4.	Comprobación idoneidad guía lineal	29
2.4.1.	Situación estática	30
2.4.2.	Situación dinámica	30
3.	Dimensionado de los tornillos.....	32
3.1.	Objeto.....	32
3.2.	Cálculo del diámetro mínimo de la espiga.....	32
3.2.1.	Placa de la estructura del hombro.....	32
3.2.2.	Placa de la estructura de soporte.....	38
3.2.3.	Placa del asiento	39
3.2.4.	Resultados.....	40
3.3.	Cálculo de la resistencia de la rosca del tornillo.....	41
3.3.1.	Estructura del hombro	41

3.3.1.1.	Placa de la estructura del hombro	41
3.3.1.2.	Cilindro giratorio de la estructura del hombro	50
3.3.2.	Estructura de soporte	51
3.3.2.1.	Placa de la estructura de soporte	51
3.3.2.2.	Bisagra de la estructura de soporte	53
3.3.3.	Placa del asiento	54
3.3.4.	Resultados	55
4.	Análisis de la estructura del hombro	57
4.1.	Objeto	57
4.2.	Consideraciones	57
4.3.	Materiales de cada elemento	58
4.4.	Restricciones	60
4.4.1.	Sujeciones de la estructura	60
4.4.2.	Condiciones de contacto	60
4.5.	Esquema de cargas	61
4.6.	Mallado	62
4.7.	Resultados	63
4.8.	Análisis de resultados	64
4.8.1.	Análisis de soldaduras	66
5.	Análisis de la estructura de soporte	69
5.1.	Objeto	69
5.2.	Consideraciones	69
5.3.	Materiales de cada elemento	70
5.4.	Restricciones	71
5.4.1.	Sujeciones de la estructura	71
5.4.2.	Condiciones de contacto	71
5.5.	Esquema de cargas	72
5.6.	Mallado	73
5.7.	Resultados	74
5.8.	Análisis de resultados	76
5.8.1.	Análisis de soldaduras	78
6.	Análisis del perfil de la columna	80

6.1.	Objeto.....	80
6.2.	Consideraciones	80
6.3.	Materiales de cada elemento	81
6.4.	Restricciones	82
6.4.1.	Sujeciones en la estructura	82
6.5.	Esquemas de cargas	83
6.6.	Mallado	86
6.7.	Resultados	87
6.8.	Análisis de resultados	88
6.9.	Análisis de soldadura	89
7.	Análisis de la placa de sujeción de los soportes móviles	92
7.1.	Objeto.....	92
7.2.	Consideraciones	92
7.3.	Materiales de cada elemento	93
7.4.	Restricciones	94
7.4.1.	Sujeciones en la estructura	94
7.5.	Esquemas de cargas	95
7.6.	Mallado	96
7.7.	Resultados	97
7.8.	Análisis de resultados	98
8.	Análisis de la estructura del asiento	100
8.1.	Objeto.....	100
8.2.	Consideraciones	100
8.3.	Materiales de cada elemento	101
8.4.	Restricciones	102
8.4.1.	Sujeciones de la estructura	102
8.5.	Caso 1	103
8.5.1.	Esquema de cargas.....	103
8.5.2.	Mallado.....	104
8.5.3.	Resultados.....	105
8.6.	Caso 2	106
8.6.1.	Esquema de cargas.....	106
8.6.2.	Resultados.....	107

8.7. Análisis de resultados	108
8.8. Análisis de soldadura	110
9. Índice de figuras	113
10. Índice de tablas	116

1. Cálculo de la fuerza ejercida por el actuador del hombro para sostener una carga

1.1. Objeto

El presente apartado pretende justificar los valores obtenidos correspondientes a la fuerza que debe aplicar el actuador para mantener la carga de diseño, así como desarrollar las expresiones requeridas para determinarla.

1.2. Definición de los componentes del sistema.

Los componentes a emplear para el sistema brazo-hombro son los mostrados esquemáticamente en la figura 1.

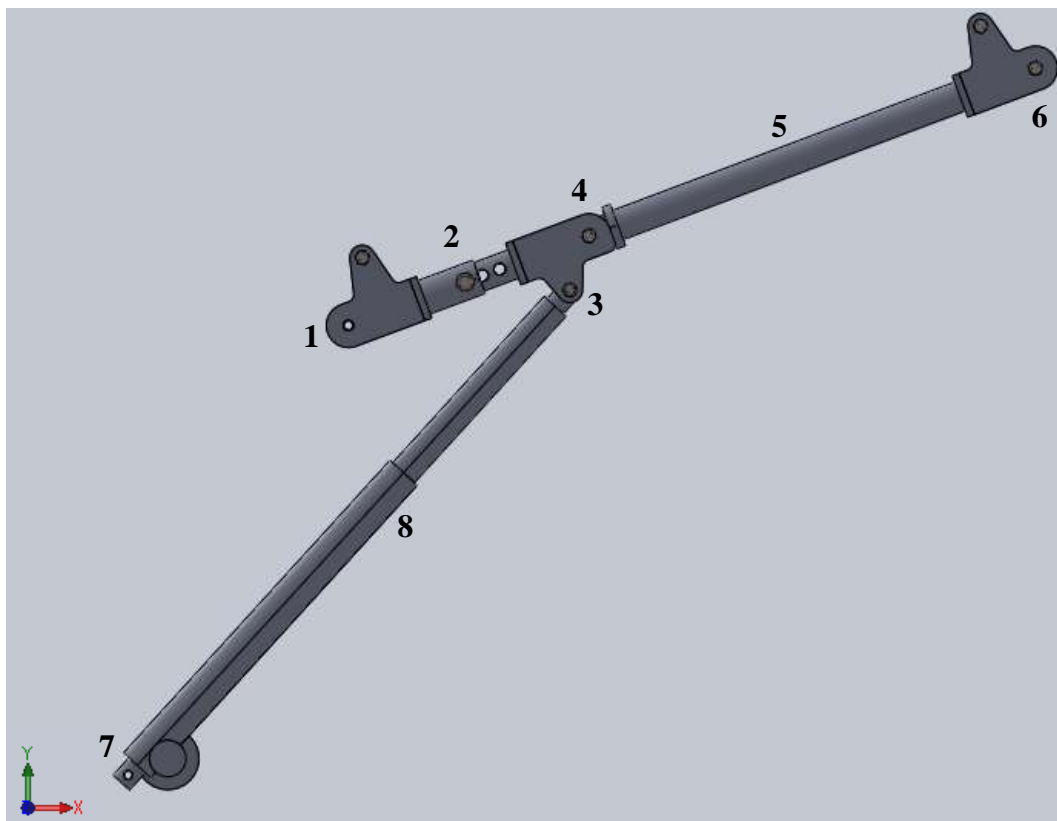


Figura 1. Identificación de elementos del brazo.

Siendo:

- 1: Eje de unión entre el sistema del brazo y el hombro.
- 2: Húmero (segmento superior del brazo).
- 3: Eje de unión entre el anclaje del vástago del actuador lineal y el brazo.
- 4: Eje de unión entre el húmero y el antebrazo (segmento inferior del brazo).
- 5: Antebrazo.
- 6: Punto de aplicación de la carga.
- 7: Eje de unión entre la base del actuador lineal y el soporte.
- 8: Actuador lineal eléctrico.

El esquema adjunto puede ser simplificado como se muestra a continuación, el cual se mantendrá para esquemas posteriores.

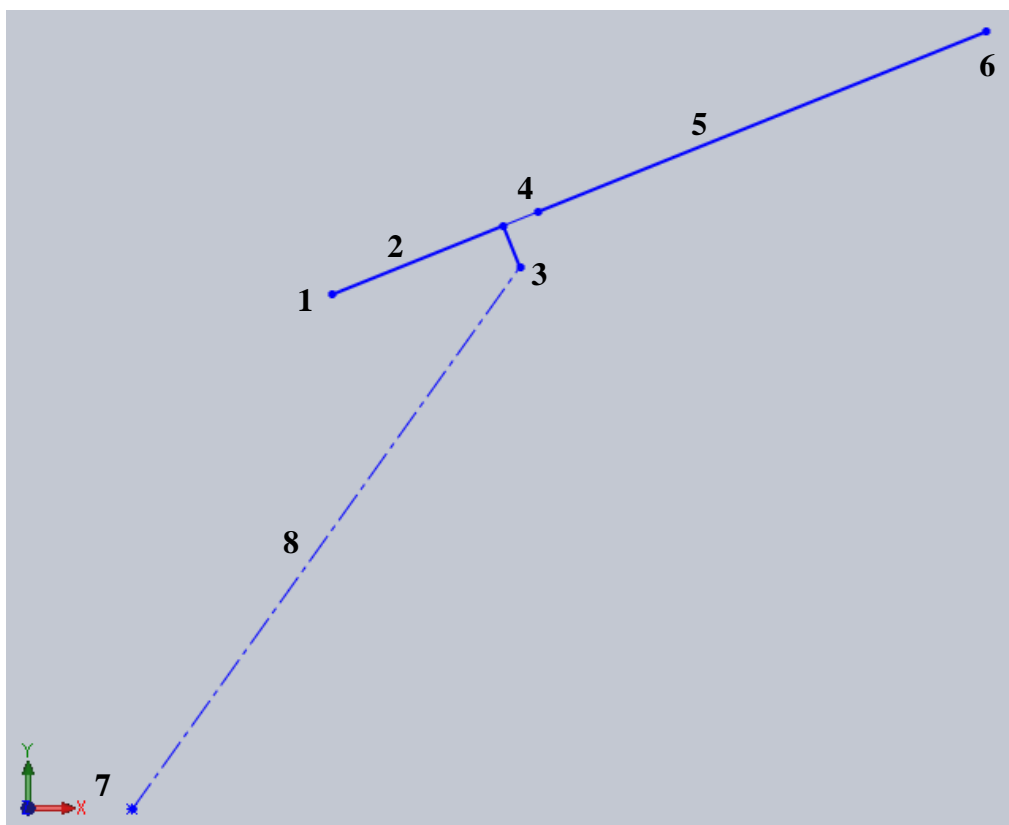


Figura 2. Esquema simplificado del brazo.

1.3. Definición de parámetros definidos por el usuario.

Se definen los parámetros que rigen el diseño.

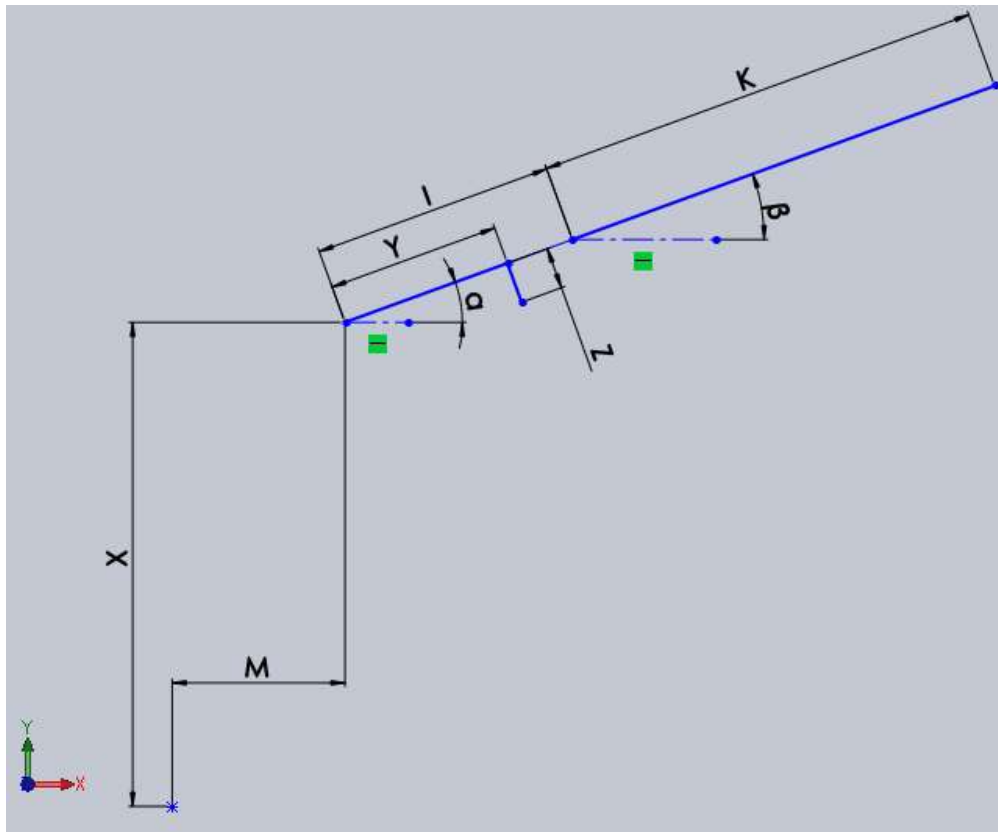


Figura 3. Parámetros geométricos definidos por el usuario.

Siendo:

- Z : Distancia desde la línea del húmero 2 hasta 3.
- Y : Distancia desde 1 hasta 3 paralela a la línea del húmero 2.
- M : Distancia desde 7 hasta 1 en el eje X.
- X : Distancia desde 7 hasta 1 en el eje Y.
- I : Longitud del húmero 2.
- K : Longitud del antebrazo 5.
- α : Ángulo del húmero 2 con respecto a la horizontal.
- β : Ángulo del antebrazo 5 con respecto a la horizontal.

Cabe mencionar que el ángulo β será siempre mayor o igual al ángulo α , dado que la anatomía humana no contempla uno menor (en cuyo caso, la persona sufriría una dislocación de la articulación del codo).

1.4. Definición del sistema estático.

La figura adjunta muestra las hipótesis de carga a estudiar en la estructura, tomando como referencia el sistema de coordenadas global.

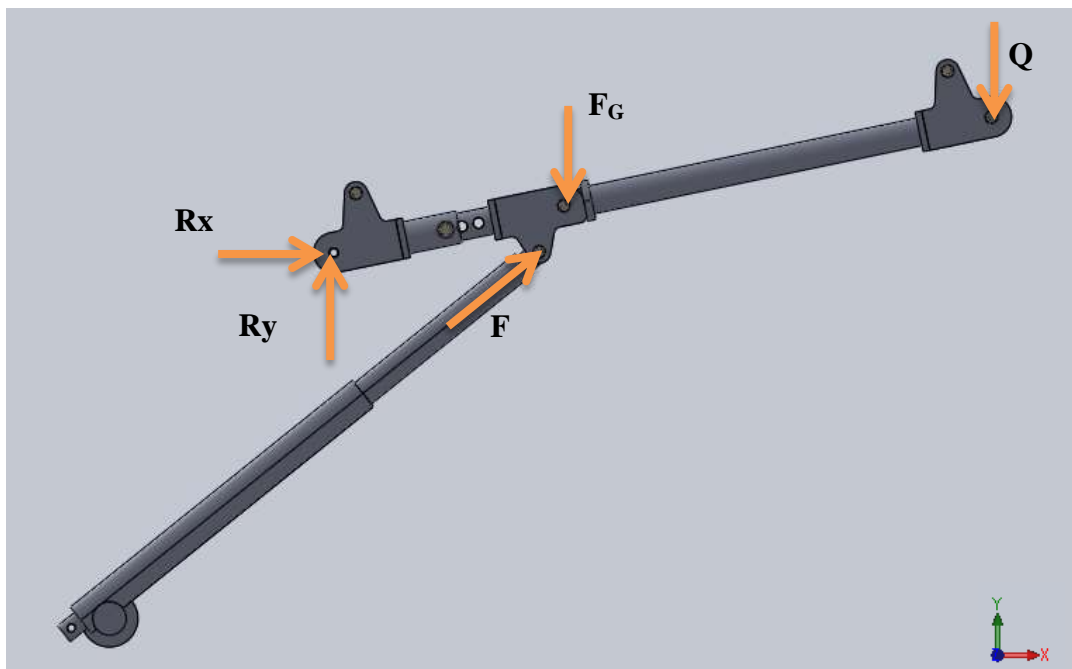


Figura 4. Esquema de fuerzas y reacciones.

Donde:

- Q : Carga aplicada sobre 6.
- F : Carga aplicada en 3 por el actuador lineal para mantener el sistema en equilibrio.
- F_G : Peso conjunto del brazo y el actuador.
- R_x : Reacción en eje X.
- R_y : Reacción en el eje Y.

La articulación del hombro 1 permitirá la rotación en el plano XY e impedirá la traslación. La articulación del antebrazo 4, permitirá la rotación de éste en el plano XY. Sin embargo, cabe mencionar que, a la hora del cálculo de fuerzas, tanto el húmero como el antebrazo se tomarán como una estructura fija. El peso conjunto del actuador y del brazo no se tomará como aplicado en la mitad de éste, sino sobre el punto 4 (Eje de unión entre el húmero y el antebrazo), dado que la mayor parte del peso del actuador se encuentra próximo a la articulación del hombro 1.

1.5. Definición de parámetros geométricos.

Para el cálculo de la fuerza aplicada por el actuador, se requiere en primera instancia la definición de una serie de parámetros geométricos. Se muestran los parámetros a determinar.

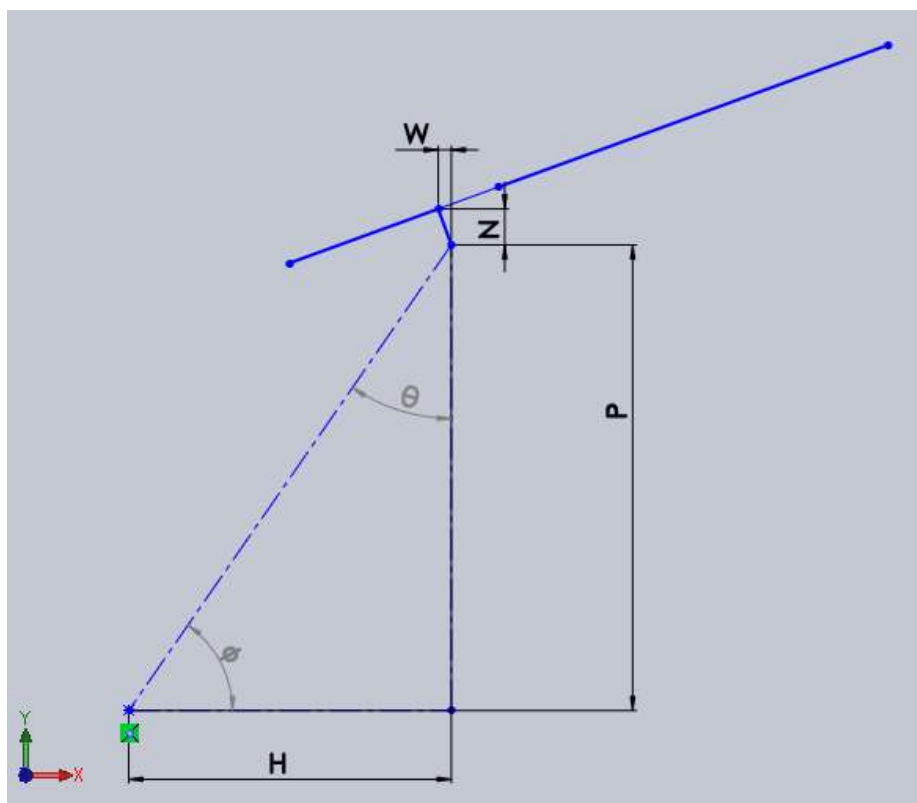


Figura 5. Parámetros geométricos 2.

Siendo:

- W : Distancia en el eje X de Z.
- N : Distancia en el eje Y de Z.
- H : Distancia en el eje X desde 7 hasta 3.
- P : Distancia en el eje Y desde 7 hasta 3.
- ϕ : Ángulo del actuador lineal 8 respecto a la horizontal.
- θ : Ángulo del actuador lineal 8 respecto a la vertical.

Todos estos parámetros dependen del ángulo α .

1.5.1. Cálculo del ángulo θ

El ángulo θ se calcula a partir de las expresiones de los parámetros geométricos mencionados anteriormente (figura 5).

$$W = Z \cdot \sin \alpha$$

$$N = Z \cdot \cos \alpha$$

A partir de las expresiones que definen W y N , es posible la determinación de H y P .

$$H = M + W + Y \cdot \cos \alpha$$

$$P = X - N + Y \cdot \sin \alpha$$

Con estos, es posible determinar el ángulo ϕ .

$$\phi = \arctan\left(\frac{P}{H}\right)$$

Y con este, el ángulo θ .

$$\theta = 90 - \phi$$

1.6. Cálculo de momentos.

1.6.1. Momento ejercido por la carga Q y F_G .

Se define en primera instancia la distancia desde el eje del hombro 1 hasta el punto de actuación de la carga Q . Para ello, se tomarán las longitudes tanto del húmero como del antebrazo en el eje X, dado que la carga Q siempre se aplica en el eje Y con respecto a un sistema de coordenadas global.

$$K_X = K \cdot \cos(\beta)$$

$$I_X = I \cdot \cos(\alpha)$$

Se denomina L a la suma de las expresiones que definen K_X e I_X .

$$L = K_X + I_X = K \cdot \cos(\beta) + I \cdot \cos(\alpha)$$

A partir de esto, se determina el momento de la carga Q con respecto al eje del hombro 1.

$$M_Q = -Q \cdot L$$

Sabiendo el punto de aplicación del peso conjunto del actuador y del brazo, es posible determinar el momento generado por éste.

$$M_{FG} = -F_G \cdot I_X$$

1.6.2. Momento ejercido por el actuador en Y

A partir de los parámetros definidos por el usuario y las expresiones W y N , es posible determinar la distancia en el eje X desde el eje del hombro 1 hasta el punto de aplicación de la fuerza del actuador en Y 3, designada con la letra B .

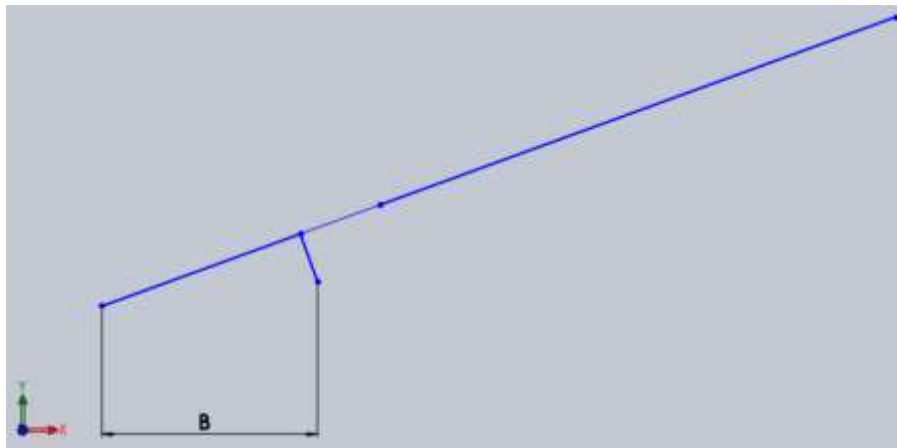


Figura 6. Parámetro B.

$$B = [W + Y \cdot \cos(\alpha)]$$

A partir de la expresión de B , es posible deducir la expresión del momento ejercido por la carga del actuador F en el eje Y 3, en función de la fuerza total ejercida por éste.

$$M_{FY} = F \cdot \cos(\theta) \cdot B$$

1.6.3. Momento ejercido por el actuador en X.

A partir de los parámetros definidos por el usuario y las expresiones que definen N y θ , es posible determinar la distancia en el eje Y desde el eje del hombro 1 hasta el punto de aplicación de la fuerza del actuador en el eje X 3, designada con la letra D .

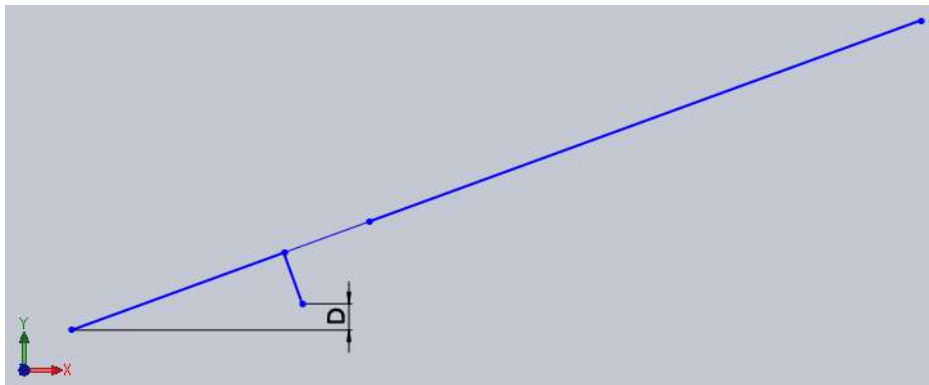


Figura 7. Parámetro D.

$$D = (-Y \cdot \sin(\alpha) - N)$$

A partir de ésta, es posible deducir la expresión del momento ejercido por la carga del actuador en el eje X, en función de la fuerza total ejercida por éste.

$$M_{FX} = F \cdot \sin(\theta) \cdot D$$

1.7. Cálculo de la fuerza ejercida por el actuador.

Dado que las expresiones M_Q , M_{FG} , M_{FY} y M_{FX} definen los momentos del sistema con respecto al eje del hombro 1, es posible determinar la fuerza ejercida por el actuador para equilibrar la estructura realizando un sumatorio de momentos con respecto a éste punto.

$$\sum M_{Hombro} = M_Q + M_{FG} + M_{FY} + M_{FX} = 0$$

Nótese que todos los momentos se toman como positivos en el sumatorio. Esto se debe a que las propias expresiones de cada momento ya contienen el signo de los

mismos. Desarrollando en la expresión anterior las expresiones M_Q , M_{FG} , M_{FY} y M_{FX} , es posible determinar la expresión de la fuerza ejercida por el actuador.

$$-Q \cdot L - F_G \cdot I_X + F \cdot \sin(\theta) \cdot D + F \cdot \cos(\theta) \cdot B = 0$$

$$F = \frac{Q \cdot L + F_G \cdot I_X}{D \cdot \sin(\theta) + B \cdot \cos(\theta)}$$

Con esto, es posible determinar las componentes en los ejes X e Y de la fuerza ejercida por el actuador.

$$F_X = F \cdot \sin(\theta)$$

$$F_Y = F \cdot \cos(\theta)$$

1.8. Cálculo de las reacciones en el hombro.

Para el cálculo de las reacciones, a partir de la figura 3, se aplican las ecuaciones de la estática, en este caso la sumatoria de fuerzas con respecto a cada eje.

Con respecto al eje X.

$$\sum F_X = R_X + F_X = 0$$

$$R_X = -F_X$$

Y con respecto al eje Y.

$$\sum F_Y = R_Y + F_Y - Q - F_G = 0$$

$$R_Y = Q + F_G - F_Y$$

1.9. Resultados de cálculo

Se tomaron como datos definidos por el usuario los siguientes a la hora del cálculo.

Longitud del antebrazo, K	0,65 metros
Longitud del húmero, I	0,30 – 0,35 metros
Carga, Q	441,45 Newton (45 kilogramos)
Peso del brazo y actuador, F_G	245,25 Newton (25 kilogramos)
Distancia X	0,70 metros
Distancia Y	0,25 – 0,30 metros
Distancia Z	0,06 metros
Distancia M	0,25 metros

Tabla 1. Datos definidos por el usuario.

El hecho de la longitud del húmero I y la distancia Y sean variables, se debe a que el húmero es regulable, y como consecuencia, cuanto mayor sea éste, mayor será la distancia hasta el eje de la oreja 3. Así mismo, la carga Q se encuentra mayorada por un factor de 1,8.

La tabla 1 muestra los cálculos determinados para una longitud del húmero de 0,30 metros, y como consecuencia una distancia Y de 0,25 metros, para posiciones de todo el brazo de 40 grados a -60 grados con respecto de la horizontal.

α [°]	β [°]	F [N]	F _x [N]	F _y [N]	R _x [N]	R _y [N]
40	40	2697,73	1369,55	2324,24	-1369,55	-1637,54
30	30	2542,04	1373,75	2138,88	-1373,75	-1452,18
20	20	2395,87	1364,97	1969,03	-1364,97	-1282,33
10	10	2251,91	1339,91	1809,90	-1339,91	-1123,20
0	0	2107,13	1297,24	1660,47	-1297,24	-973,77
-10	-10	1960,61	1236,83	1521,26	-1236,83	-834,56
-20	-20	1812,57	1159,36	1393,30	-1159,36	-706,60
-30	-30	1663,86	1066,10	1277,44	-1066,10	-590,74
-40	-40	1515,45	958,64	1173,70	-958,64	-487,00
-50	-50	1367,51	838,48	1080,30	-838,48	-393,60
-60	-60	1217,12	706,15	991,33	-706,15	-304,63

Tabla 2. Resultados obtenidos para diferentes posiciones.

Dado que resulta complicado mostrar todas las combinaciones de ángulos posibles, se muestran aquellos casos en los que los ángulos α y β coinciden en valor.

Como consecuencia, se observa que las cargas máximas obtenidas en el actuador se dan para una posición del brazo a 40 grados sobre la horizontal.

α [°]	β [°]	F [N]	F _x [N]	F _y [N]	R _x [N]	R _y [N]
40	40	2697,73	1369,55	2324,24	-1369,55	-1637,54

Tabla 3. Valores máximos de fuerza obtenidos.

Las cargas obtenidas para estas combinaciones pueden ser representadas gráficamente, como muestra el gráfico adjunto.

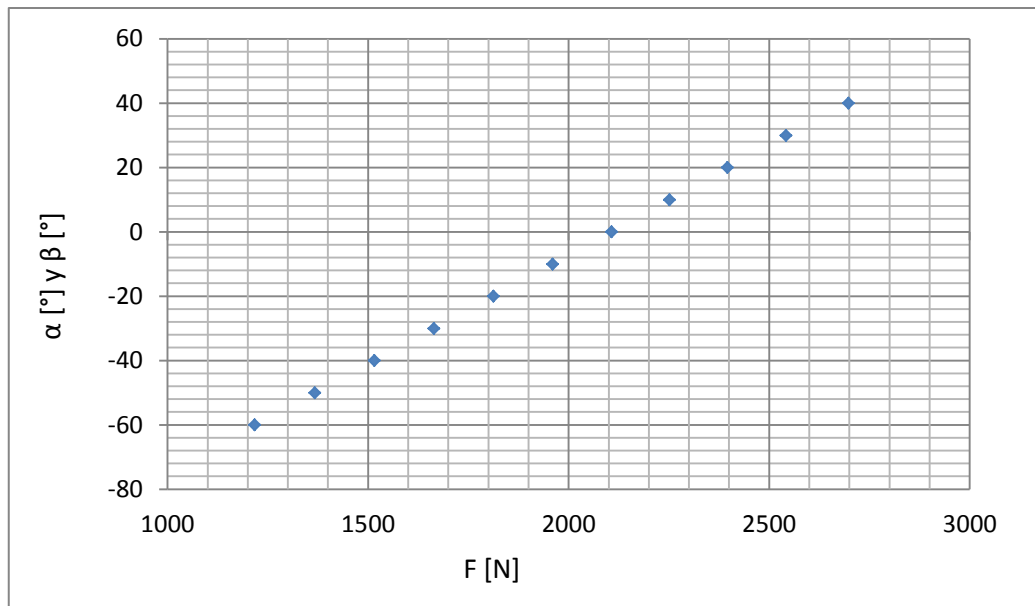


Figura 8. Gráfica de la fuerza del actuador en función el ángulo del brazo

Como se puede observar, la carga aumenta de manera aproximadamente proporcional a los ángulos α y β (en el caso de que ambos sean iguales).

Por tanto, para dimensionar tanto la estructura que sostendrá la articulación del hombro como la estructura que sostendrá la base del actuador, se emplearán las reacciones y fuerzas, respectivamente, obtenidas para el ángulo más desfavorable, que en este caso como se ha podido mostrar es a 40 grados con respecto a la horizontal.

2. Cálculo esfuerzos sobre guías lineales de la espalda

2.1. Objeto del anexo

El presente documento pretende justificar los cálculos asociados a los esfuerzos ejercidos sobre los soportes deslizadores de las guías lineales sobre las que se desliza la espalda del exoesqueleto, así como las propias guías. Una vez se hayan calculados los esfuerzos aplicados, se comprobará la resistencia del conjunto soporte-guía lineal frente a estos esfuerzos comparándolos con los valores máximos aportados por el fabricante en su catálogo.

2.2. Esquemas de cargas

Puesto que el exoesqueleto en cuestión se trata de una estructura con un rango determinado de libertad de movimiento, se estudiarán las situaciones de carga más desfavorables para el diseño. A continuación se muestran los dos casos extremos posibles de carga, a partir de los cuales se obtendrán las condiciones de carga para el diseño.

Se empleará un modelo simplificado de las partes del exoesqueleto relevantes para este cálculo, las cuales son los brazos del exoesqueleto junto a la estructura que los une al perfil vertical que cumple el papel de columna vertebral, incluida esta última también.

- **Caso 1:** Brazos completamente estirados en una posición horizontal

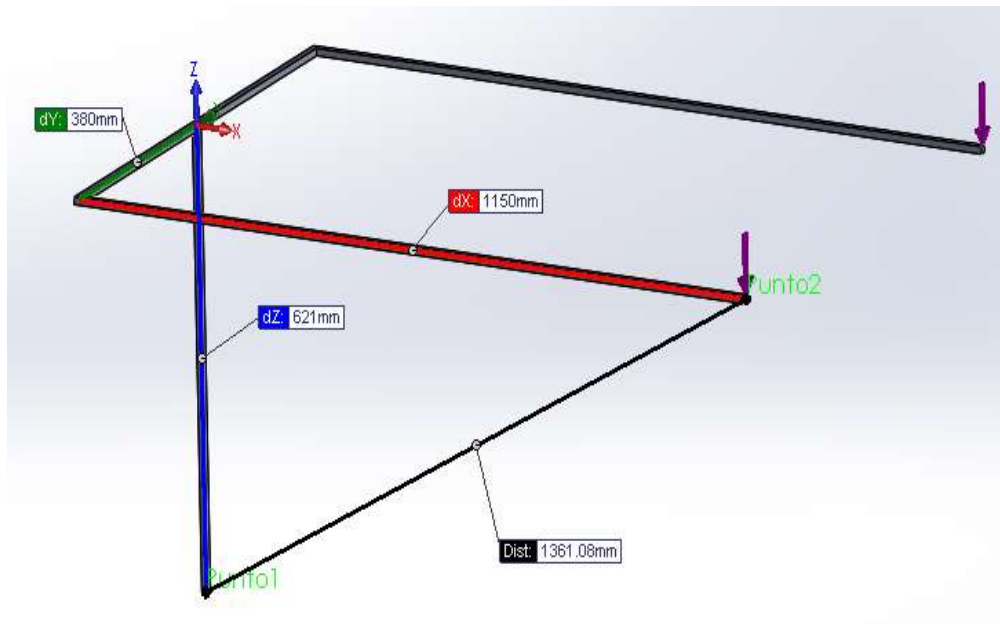


Figura 9. Esquema de carga para caso 1

- **Caso 2:** Brazos completamente estirados paralelos a la horizontal. Uno de ellos está abierto 20° hacia el exterior y el otro está cerrado 10° hacia el interior. La carga está aplicada únicamente en un solo brazo.

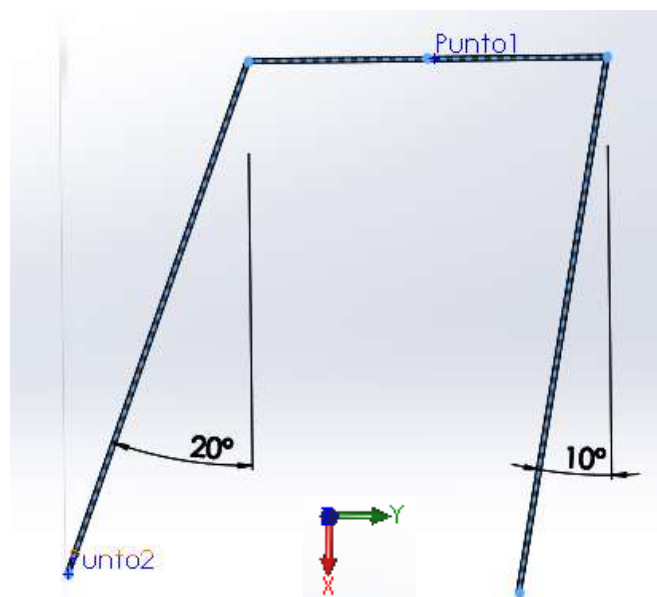


Figura 10. Angulo de apertura de los brazos

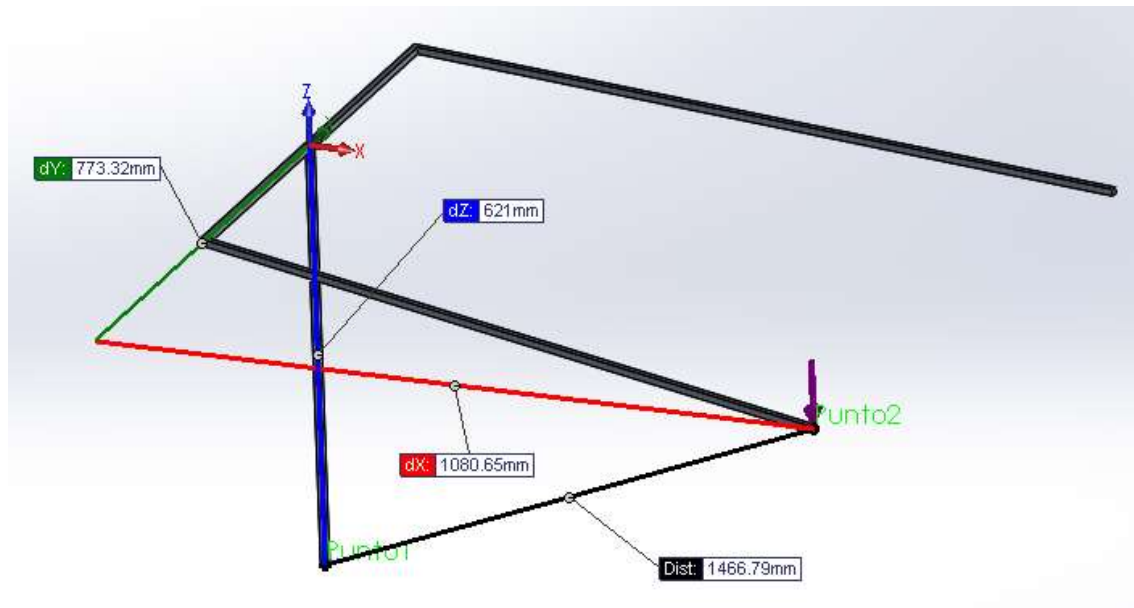


Figura 11. Esquema de cargas para caso 2

Tras el estudio de las diferentes posiciones de carga, se ha llegado a los dos casos anteriores en los cuales las distancias respecto al origen estimado, en este caso el centro de gravedad de todos los soportes deslizantes de las guías lineales (Punto 1), son máximas en alguno de los ejes del espacio.

Paralelamente a estas cargas, se incluirá en el cálculo tanto la sollicitación del peso propio del conjunto del exoesqueleto que se encuentra sobre las guías lineales (peso propio del conjunto de la columna, los brazos y los actuadores de los mismos) como el peso del operario del exoesqueleto. Este último peso se considera como el máximo admisible por el exoesqueleto que se limita a 1177,2 N, tal y como se comenta en el anexo referente al asiento del exoesqueleto.

Puesto que los soportes deslizantes soportan un momento determinado en cada dimensión del espacio inferior al requerido, se han dispuesto 4 soportes deslizantes repartidos en dos guías lineales. El objetivo de esta distribución es la transformación del esfuerzo del momento flector sobre los mismos, en una fuerza de compresión, tracción o corte en los tornillos de fijación de los soportes deslizantes.

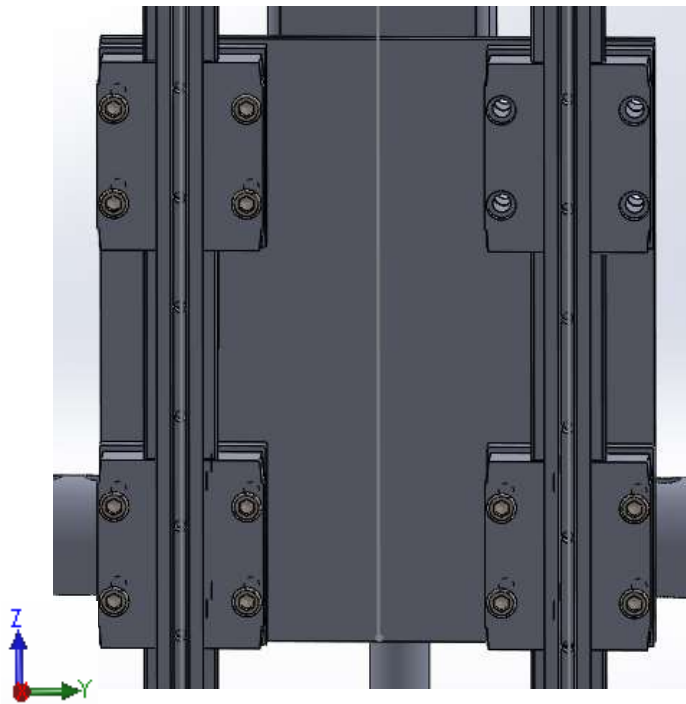


Figura 12. Disposición de los soportes móviles

Por un lado, se han dispuesto dos pares de soportes en la dirección Z para repartir el momento flector respecto al eje Y en dos reacciones en X de tracción y compresión. Igualmente para el caso de carga 2, se debe repartir el momento flector respecto al eje X en dos reacciones en Y de tracción y compresión.

Por otro lado, la necesidad de instalar dos guías lineales con sus respectivos soportes surge de la vulnerabilidad de una sola línea frente a un momento respecto al eje Z que pueda surgir en el uso del exoesqueleto.

Este esfuerzo se puede deber a impactos laterales que pueda sufrir el conjunto en funcionamiento mientras se encuentra con carga o simplemente debido al desplazamiento brusco de la carga hacia uno de los laterales del exoesqueleto. Para contemplar estos posibles efectos, además de los factores de seguridad tomados en la carga, se ha instalado la segunda guía lineal que aporta una mayor inercia resistente frente a este momento torsor respecto el eje Z.

A continuación se muestran los diferentes momentos flectores comentados y sus reacciones correspondientes en los diferentes soportes deslizantes.

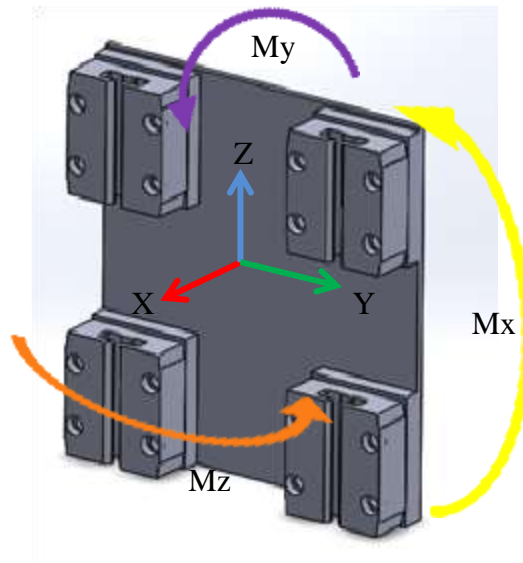


Figura 13. Ejes de referencias y momentos

- Semicircunferencia de color Violeta: momentos en Y
- Semicircunferencia en color Amarillo: momentos en X
- Semicircunferencia en color Naranja: momentos en Z
- Eje rojo X: dirección de las reacciones producidas por el momento My
- Eje verde Y: dirección de las reacciones producidas por el momento Mx

2.3. Cálculo de los esfuerzos aplicados

Para el cálculo de las reacciones en los soportes lineales se calcula inicialmente el momento producido por las cargas actuantes en los mismos, respecto el centro de gravedad de los cuatro soportes deslizantes, siendo este el origen del sistema. A partir de la sumatoria de todos los momentos que afectan en cada caso se obtendrá el esfuerzo total.

Puesto que el momento vectorialmente se calcula como:

$$\vec{M} = \text{Distancia} \cdot \text{Fuerza} = \vec{r} \cdot \vec{F}$$

Se procede inicialmente a obtener los vectores de distancia y fuerza de los dos casos de carga a estudiar para calcular los diferentes momentos aplicados en el origen de referencia determinado. Estos se recogen en la siguiente tabla.

Vector [m]	Valor i	Valor j	Valor k
\vec{r}_1 [m]	1,28	±0,43	0,64
$\vec{r}_{1-P.B.}$ [m]	0,7	±0,43	0,64
$\vec{r}_{1-P.A.}$ [m]	0,32	±0,39	0,3
\vec{r}_2 [m]	1,2	-0,77	0,64
$\vec{r}_{2-P.B.}$ [m]	0,7	-0,55	0,64
$\vec{r}_{2-P.A.}$ [m]	0,32	-0,43	0,3
$\vec{r}_{P.COLUMNNA}$ [m]	0,1	0	0,36
$\vec{r}_{P.USUARIO}$ [m]	0,3	0	0,05
$\vec{F}_1 = \vec{F}_2$ [N]	0	0	-500
$\vec{F}_{P.B.}$ [N]	0	0	-245,25
$\vec{F}_{P.A.}$ [N]	0	0	-49,05
$\vec{F}_{P.COLUMNNA}$ [N]	0	0	-735,75
$\vec{F}_{P.USUARIO}$ [N]	0	0	-1177,2

Tabla 4. Vectores de carga y posición para los casos 1 y 2

Siendo los subíndices P.B. peso propio del brazo junto al actuador correspondiente, P.A. peso propio del actuador del hombro, P.COLUMNNA peso propio del torso y P.USUARIO peso del operario.

Nótese que en el caso 1 se tiene en cuenta una carga de 500 N para cada brazo. Este valor de carga es el estipulado para el cálculo del diseño ya que en él se incluye el factor de seguridad especificado.

El cálculo vectorial resulta de hallar el determinante del producto vectorial de $\vec{r} \cdot \vec{F}$

$$\vec{M} = \vec{r} \cdot \vec{F} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ ri & rj & rk \\ Fi & Fj & Fk \end{vmatrix}$$

Para el caso 1 se calculará el momento total como la sumatoria de los momentos actuantes.

$$\overrightarrow{M}_{caso1} = \sum \vec{M} = \overrightarrow{M}_{F1} + \overrightarrow{M}_{FPB} + \overrightarrow{M}_{FPA} + \overrightarrow{M}_{FP\ COLUMNA} + \overrightarrow{M}_{FP\ USUARIO}$$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{M}_{caso1} = & \begin{vmatrix} i & j & k \\ 1,28 & \mp 0,43 & 0,64 \\ 0 & 0 & -500 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} i & j & k \\ 0,7 & \mp 0,43 & 0,64 \\ 0 & 0 & -245,25 \end{vmatrix} \\ & + \begin{vmatrix} i & j & k \\ 0,32 & \mp 0,39 & 0,3 \\ 0 & 0 & -49,05 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} i & j & k \\ 0,1 & 0 & 0,36 \\ 0 & 0 & -735,75 \end{vmatrix} \\ & + \begin{vmatrix} i & j & k \\ 0,3 & 0 & 0,05 \\ 0 & 0 & -1177,2 \end{vmatrix} \end{aligned}$$

$$\overrightarrow{M}_{caso1} = 1280j + 343,36j + 31,4j + 73,58j + 353,16j = +2081,5j\ Nm$$

De igual modo se realiza el cálculo vectorial en el caso 2.

Caso 1	2081,5j Nm
Caso 2	1814,12j+925,99i Nm

Tabla 5. Momentos de caso 1 y 2

Cabe mencionar que en el caso 2, la carga existente en un solo brazo se ha multiplicado por dos para de esta manera, contemplar cualquier tipo de efecto dinámico de la carga y el peso propio del brazo o cualquier tipo de impacto lateral. Este caso de carga es hipotético y nunca se podría dar en la realidad debido a que la máxima carga de diseño por brazo es de 45 kg, pero con su consideración se asegura la estabilidad y seguridad estructural del exoesqueleto frente estos tipos de imprevistos en el uso del mismo. En este caso 2 comentado, tampoco se han tenido en cuenta el peso propio del brazo que se encuentra sin carga.

Esta hipótesis irreal de carga se ha considerado de forma aislada en el presente anexo por las cuestiones mencionadas, no obstante, en el resto del proyecto se aludirá a este caso de carga en el que un solo brazo se encuentra cargado, con una carga máxima de diseño de 45 kg en el mismo.

Se observa como los momentos en i y j corresponden respectivamente con los momentos M_x y M_y comentados anteriormente.

A continuación se procede al cálculo de las reacciones debidas a estos momentos.

Para el caso del momento respecto al eje x, M_x , el único caso en el que se da este momento es el caso 2. A partir de este, se dispone de dos puntos de apoyo entre los que se reparte este momento en el plano YZ. Regulando la distancia entre los soportes deslizantes, los cuales son los puntos de apoyo comentados, se puede variar la magnitud de la fuerza aplicada en los soportes deslizantes. Se modificará esta distancia hasta un determinado valor máximo limitado por la geometría del diseño y el ensamble con el resto de componentes de su entorno más próximo. Las diferentes distancias estipuladas se ilustran a continuación.

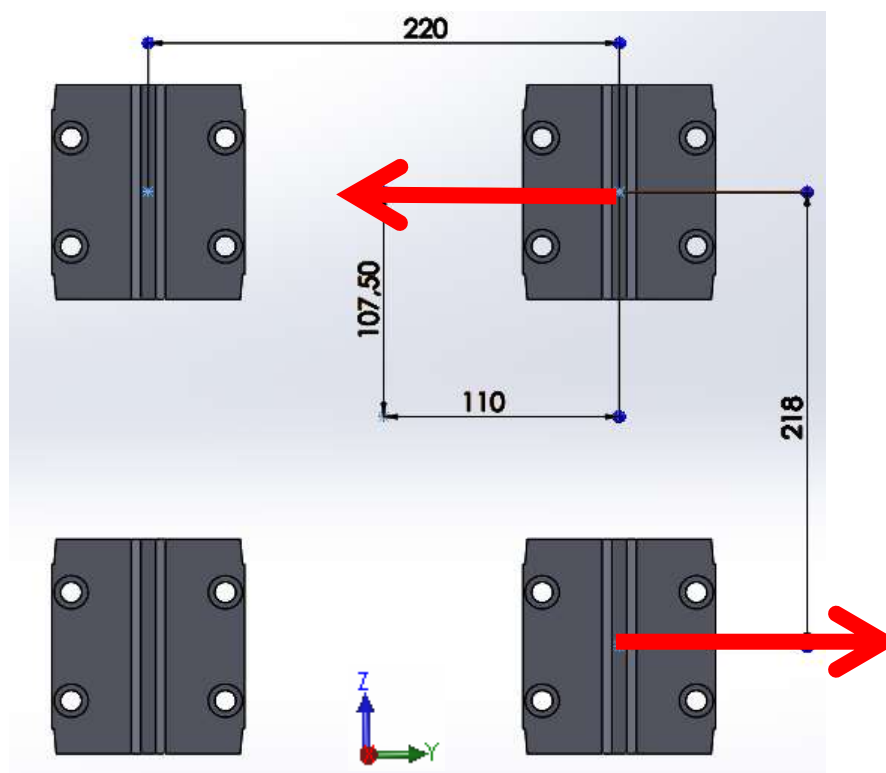


Figura 14. Fuerzas debidas a M_x

El momento M_x debería de distribuirse equitativamente entre los cuatro soportes deslizantes pero para el cálculo, se tiene en cuenta el caso desfavorable en el que únicamente los dos soportes deslizantes laterales resistan es momento. Para ello, las dos

fuerzas representadas en rojo en la imagen anterior, son las reacciones que producen los soportes deslizantes para soportar el momento. Estas cargas se calculan a continuación.

$$\text{Momento} = \text{Fuerza} \cdot \text{Distancia}$$

$$M_x = 925,99 \text{ Nm} = F_y \cdot \frac{0,2185\text{m}}{2}$$

$$F_y = \frac{925,99 \text{ Nm}}{0,1075\text{m}} = 8613,86 \text{ N}$$

Puesto que se trata de dos apoyos, esta fuerza se dividirá entre el número de apoyos.

$$F_{y_{\text{soporte deslizante}}} = \frac{3581,4 \text{ N}}{2} = 4306,93 \text{ N}$$

Para el cálculo de las fuerzas soportadas por los soportes deslizantes a causa del momento respecto el eje y, se tendrá en cuenta el momento más desfavorable de ambos casos ya que no se pueden dar simultáneamente. Por ello se tomará el momento respecto el eje y del caso 1 para este cálculo.

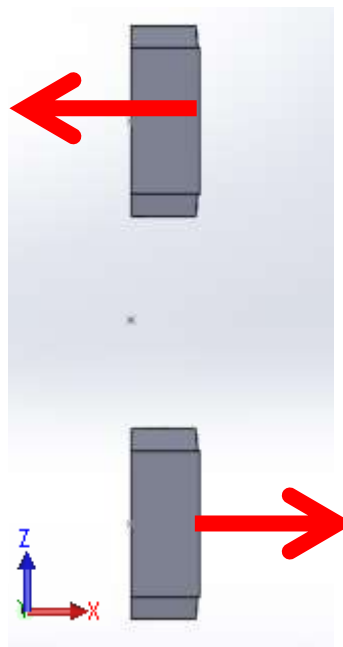


Figura 15. Fuerzas debidas a My

El momento respecto al eje y se distribuye uniformemente entre los 4 soportes deslizantes en este caso de estudio en el que las cargas están simétricas y centradas respecto al origen. El procedimiento de cálculo es similar al empleado anteriormente.

$$My = 2081,5 Nm = Fy \cdot \frac{0,2185 m}{2}$$

$$Fx = \frac{2081,5 Nm}{0,1075m} = 19362,8 N$$

Al disponer de dos soportes deslizantes en cada guía y al haber a su vez una guía más, esta fuerza se divide entre 4 para obtener la fuerza aplicada en cada soporte individualmente.

$$Fx_{soporte\ deslizante} = \frac{19362,8 N}{4} = 4840,7 N$$

En base a la 3ª Ley de Newton de acción-reacción en la cual ambas son de igual magnitud pero sentido inverso, las acciones o fuerzas ejercidas sobre los soportes deslizantes son:

Eje en el que se aplica la fuerza	Valor de la fuerza
Eje x	4840,7 N
Eje y	4306,9 N

Tabla 6. Fuerzas aplicadas en cada eje

2.4. Comprobación idoneidad guía lineal

En este apartado se comprueba que las solicitaciones del conjunto soporte deslizante-guías lineales, no superen los valores de carga máximos estipulados por el fabricante.

Las guías lineales elegidas son las denominadas comercialmente “Mesas deslizantes IGUS® Drylin T”, del fabricante de elementos de transmisión de potencia y desplazamiento IGUS. Dentro de esta denominación comercial se ha seleccionado el conjunto TK-01-30, el cual se compone del rail de guiado Drylin-T TS-01-30 y de del patín deslizante Drylin-T TW-01-30.

Para la comprobación de cargas, se realizará comprobaciones de carga en situación estática de los soportes deslizantes y en la situación de movimiento de los mismos.

2.4.1. Situación estática

Para esta situación, el fabricante suministra los siguientes valores y esquema de cargas.

DryLin® T - Capacidad de carga estática permitida

Tipo	C_{0Y} [kN]	$C_{0(-Y)}$ [kN]	C_{0Z} [kN]	M_{0X} [Nm]	M_{0Y} [Nm]	M_{0Z} [Nm]
04-07	0,2	0,2	0,1	1,2	0,8	0,8
04-09	0,48	0,48	0,24	3,4	1,8	1,8
04-12	0,96	0,96	0,48	9,2	4,4	4,4
04-15	1,4	1,4	0,7	17	8	8
01-15	4	4	2	32	25	25
01-20	7,4	7,4	3,7	85	45	45
01-25	10	10	5	125	65	65
01-30	14	14	7	200	100	100

Tabla 02: drylin® - capacidad de carga estática

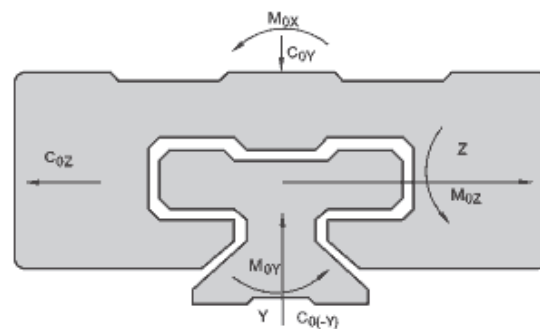


Fig. 01: Direcciones

Figura 16. Solicitaciones resistentes por los soportes móviles

Se muestra en la siguiente tabla la comparación de solicitaciones y cargas máximas.

Solicitación	Carga máxima permitida
4840,7 N	14000 N
4306,9 N	7000 N

Tabla 7. Cargas máximas permitidas por los soportes móviles

2.4.2. Situación dinámica

Para la situación dinámica, en la que el soporte deslizante se encuentra en movimiento, se especifica una velocidad máxima de desplazamiento de 13 mm/s, aportada por el actuador localizado en la espalda. Con este dato de velocidad máxima,

que se trata como el caso más desfavorable posible, se comprueba la máxima carga en situación dinámica que soporta el conjunto de desplazamiento lineal.

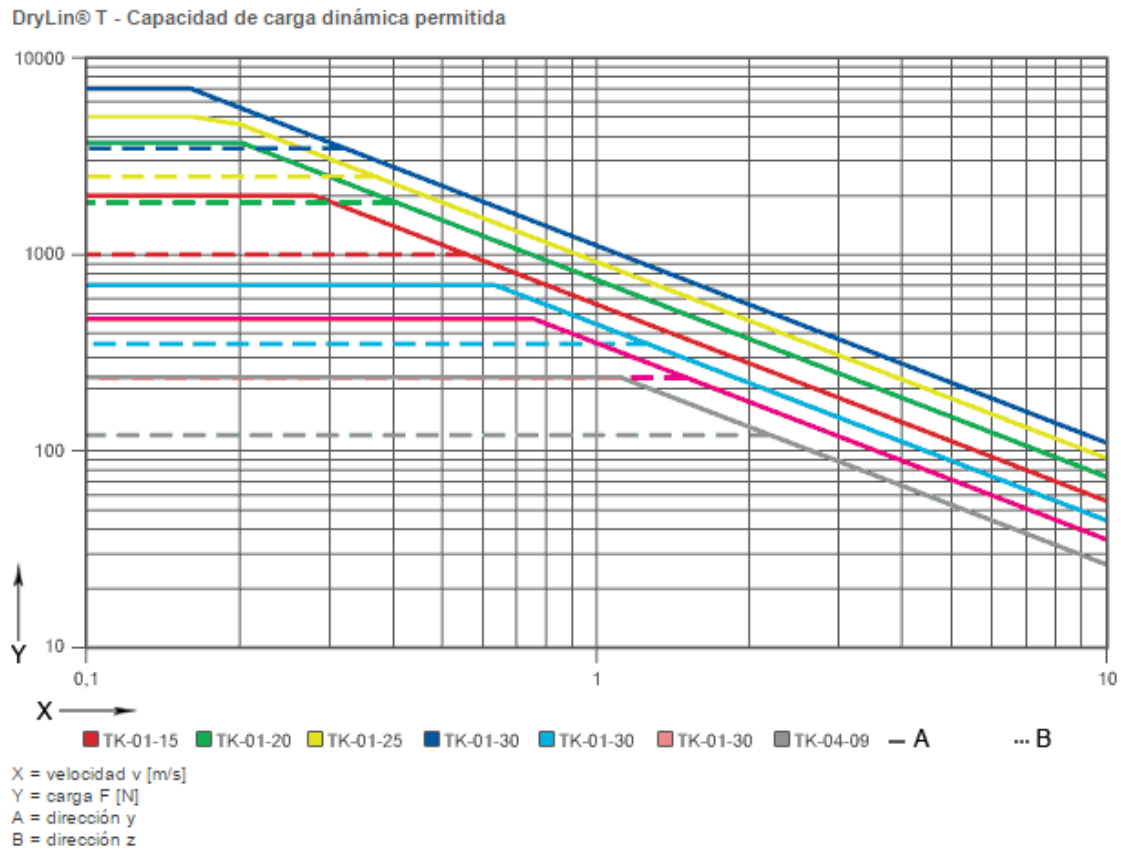


Fig. 02: drylin® – capacidad de carga dinámica

Figura 17. Gráfico de la capacidad de carga de los soportes en función de la velocidad de movimiento

Se comprueba que para la velocidad estipulada de $13 \text{ mm/s} = 0,013 \text{ m/s}$, el factor reductor de la situación dinámica no es aplicable para el caso de estudio. Por lo tanto, se tomará la misma carga máxima en situación dinámica como en situación estática.

3. Dimensionado de los tornillos

3.1. Objeto

El presente apartado pretende justificar las medidas mínimas tomadas tanto para los tornillos como para las rocas de la estructura.

3.2. Cálculo del diámetro mínimo de la espiga

3.2.1. Placa de la estructura del hombro

Para este caso, se explicará detalladamente el cálculo llevado a cabo para la determinación del diámetro mínimo de la espiga.

A partir de las fuerzas de reacción calculadas en el anexo “Cálculo de la fuerza ejercida por el actuador del hombro para sostener una carga”, se podrá determinar la fuerza de corte que se ejercerá en la espiga de los tornillos correspondientes a la placa de la estructura del hombro. La imagen adjunta muestra las hipótesis de carga a tomar.

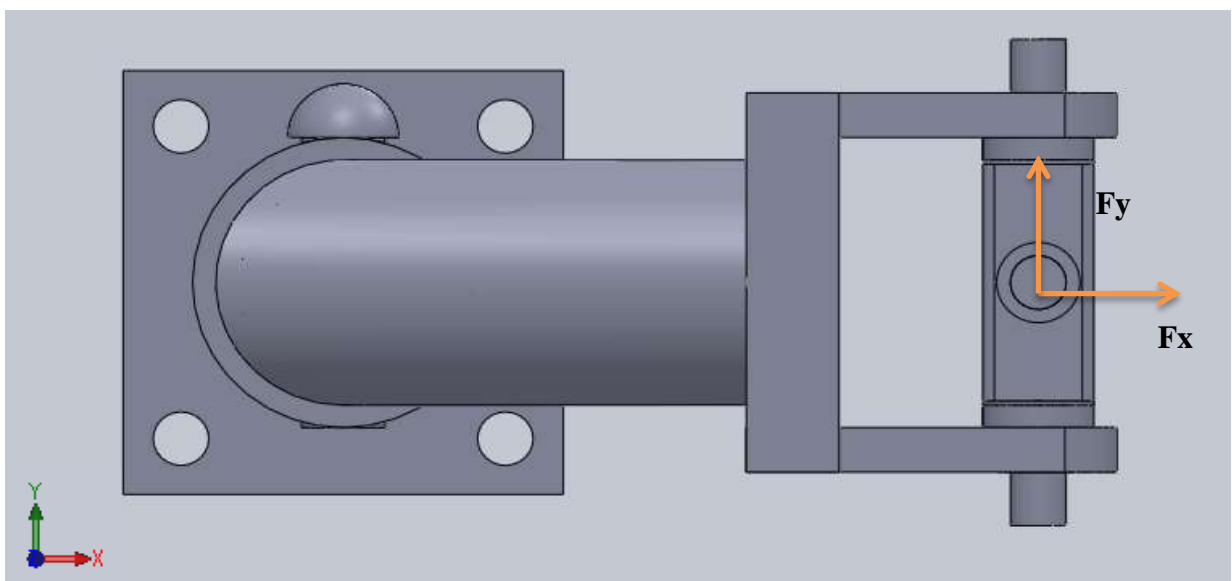


Figura 18. Esquema de fuerzas sobre el hombro

Dónde:

- F_x : Fuerza máxima de reacción en el eje X ejercida por el hombro para sostener la carga de diseño.
- F_y : Fuerza máxima de reacción en el eje Y ejercida por el hombro para sostener la carga de diseño.

En primera instancia, se determina el cortante ejercido sobre cada tornillo por la carga aplicada sobre cada eje. Para ello, se emplea la siguiente expresión.

$$F_{CC} = \frac{F}{N}$$

Donde F será la carga aplicada sobre el eje X y el eje Y, y N el número de tornillos sobre los que se distribuye la carga.

Con ello, la fuerza de corte aplicada sobre cada tornillo para cada eje será:

$$F_{CCX} = \frac{F_X}{N}$$

$$F_{CCY} = \frac{F_Y}{N}$$

Con ello, sobre cada tornillo se producirá una fuerza de corte, tal y como se muestra en la imagen adjunta.

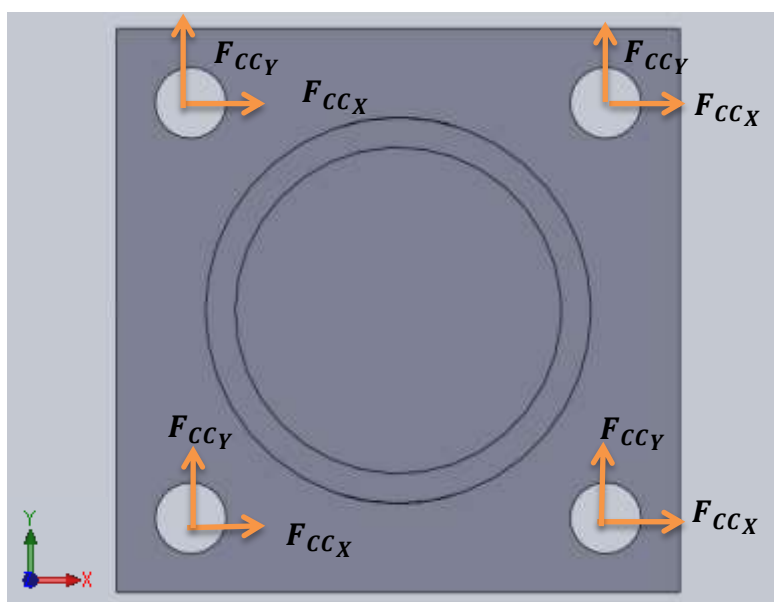


Figura 19. Esquema de sollicitaciones de corte

Además, se estará generando una fuerza de corte en cada tornillo como consecuencia del momento torsor producido por la reacción F_y , y que dependerá de la distancia que haya hasta el centro de gravedad de todos ellos.

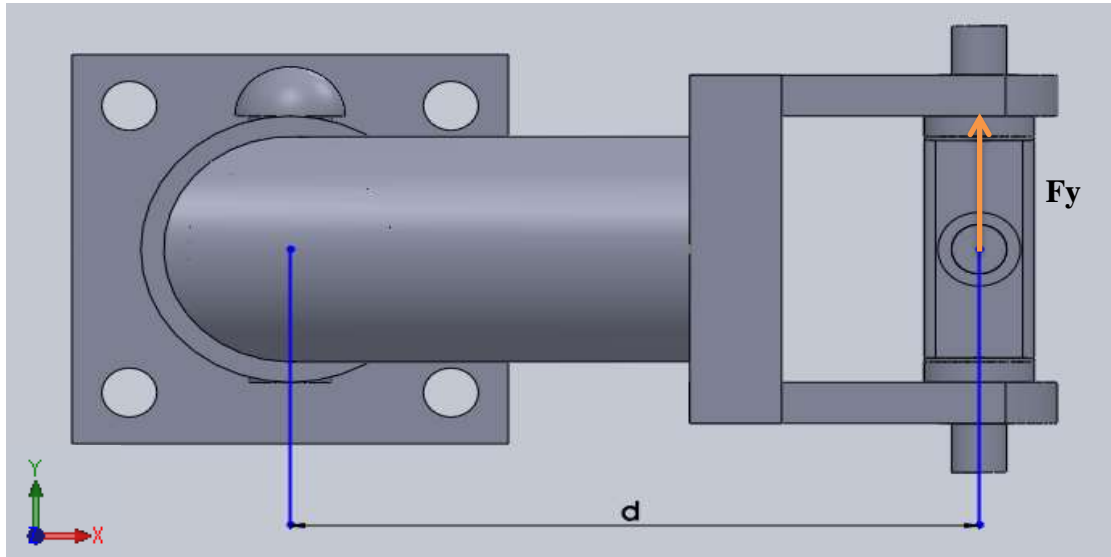


Figura 20. Momento torsor formado a partir de d y F_y

Este momento torsor será.

$$M_T = F_Y \cdot d$$

Éste generará una fuerza de corte en cada tornillo, que dependerá de la distancia de estos hasta el centro de gravedad. Además, esta fuerza será tangente a la circunferencia que pasa por cada uno de sus centros.

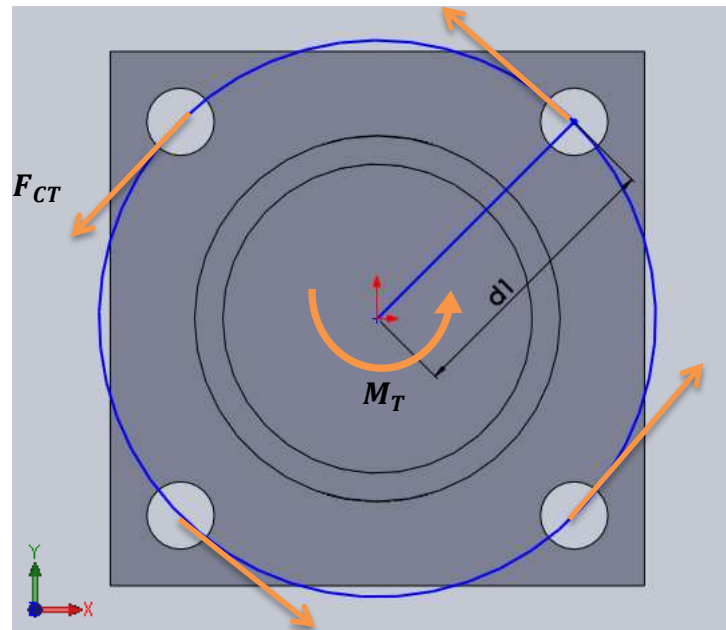


Figura 21. Esquema de solicitaciones de corte provocadas por el momento torsor

Por tanto, la fuerza de corte en cada tornillo como consecuencia del momento torsor será.

$$F_{CT} = \frac{M_T}{N \cdot d_1}$$

Conociendo el sentido de cada fuerza, es posible determinar el tornillo más solicitado. La imagen adjunta muestra la dirección de cada fuerza para cada tornillo.

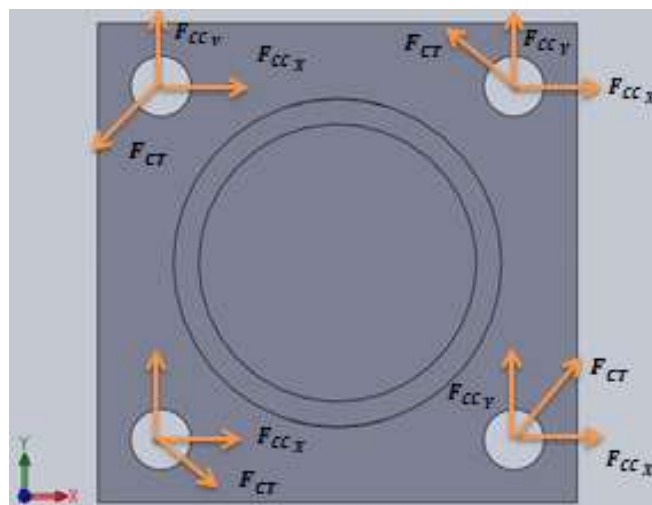


Figura 22. Conjunto de solicitaciones de corte sobre los tornillos

Se observa por tanto que el tornillo más solicitado para este caso será el situado en la esquina inferior derecha, dado que el sentido de todas las fuerzas actuantes en cada eje sobre él coinciden. Por tanto, descomponiendo la fuerza F_{CT} es posible sumar cada componente con las fuerzas provocadas por el corte en cada eje. Para este caso, dado que la distancia entre tornillos es igual en ambas direcciones, el ángulo de la fuerza F_{CT} con respecto a la horizontal será de 45 grados. Para aquellos casos en los que la distancia de los tornillos sea distinta para cada dirección, éste ángulo cambiará.

$$F_{Tornillo_x} = F_{CC_x} + F_{CT_x}$$

$$F_{Tornillo_y} = F_{CC_y} + F_{CT_y}$$

Y aplicando el módulo, es posible obtener la fuerza total.

$$F_{Tornillo} = \sqrt{F_{Tornillo_x}^2 + F_{Tornillo_y}^2}$$

Por tanto, conociendo el esfuerzo cortante admisible del material, es posible determinar el diámetro mínimo del tornillo.

$$\zeta_y \geq \frac{F_{Tornillo}}{A_{Tornillo}} = \frac{4 \cdot F_{Tornillo}}{\pi \cdot D^2}$$

Por tanto, despejando de la expresión anterior el diámetro D .

$$D \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_{Tornillo}}{\pi \cdot \zeta_y}}$$

A partir de la expresión adjunta se obtiene el valor de límite de fluencia elástico a cortante de:

$$\zeta_y = 0,577 \cdot \sigma_y$$

Donde σ_y es el límite de fluencia elástico a tensión, y ζ_y el límite de fluencia elástico a cortante. La tabla adjunta muestra los valores de límite de fluencia elástico mínimo a tensión y cortante para distintas calidades de tornillo.

Número de Clase	σ_y [MPa]	ζ_y [MPa]
4.6	240	138,48
4.8	340	196,18
5.8	420	242,34
8.8	660	380,82
9.8	720	415,44
10.9	940	542,38

Tabla 8. Resistencia de tornillos para diferentes clases

Para este caso, se toma un valor de calidad de 8.8. La tabla adjunta muestra los valores de los parámetros a tener en cuenta en el cálculo, así como el valor del diámetro mínimo requerido para esta sección.

Distancia entre tornillos en X	70 mm
Distancia entre tornillo en Y	70 mm
Fuerza en el eje X F_x	1369,55 N
Fuerza en el eje Y F_y	1637,54 N
Número de tornillos N	4 tornillos
Distancia d	150 mm
Distancia d1	49,49 mm
Fuerza en el tornillo F_{tornillo}	1772,84 N
Límite de fluencia elástico ζ_y	380,82 MPa
Diámetro mínimo	2,43 mm

Tabla 9. Cálculo diámetro mínimo de la espiga en los tornillos de sujeción del hombro

3.2.2. Placa de la estructura de soporte

Dado que el procedimiento de cálculo es igual al caso anterior, únicamente se adjuntará un esquema de cargas, así como una tabla de datos y resultados.

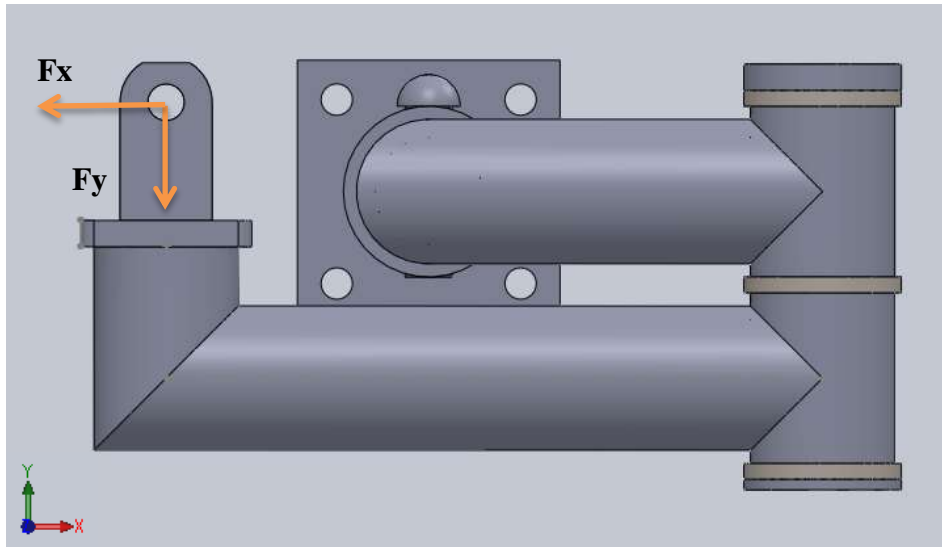


Figura 23. Esquema de fuerzas sobre estructura de soporte del actuador

Como se puede observar, en este caso la carga F_x no se encuentra en la línea del centro de gravedad del eje Y, y como consecuencia además del corte provocado por la propia carga, también generará un momento torsor en función de la distancia d_2 .

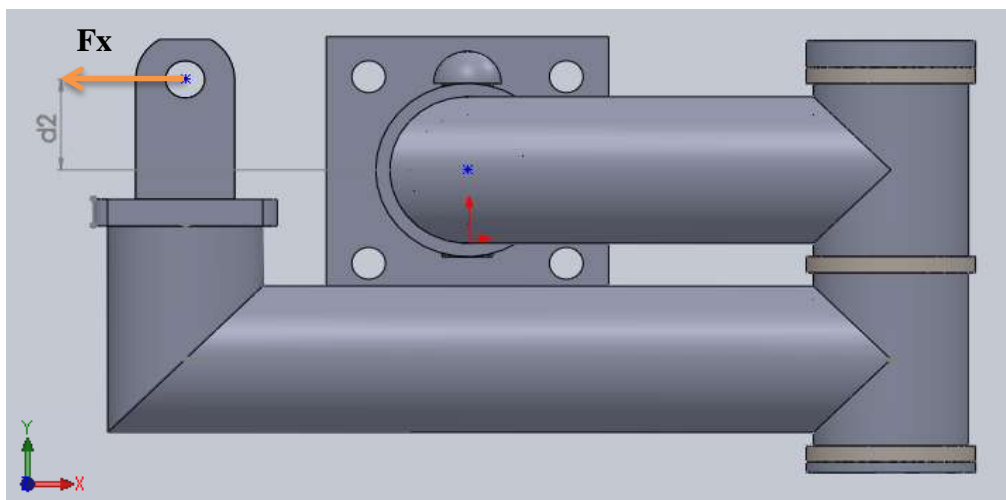


Figura 24. Momento torsor formado por F_x y d_2

La tabla adjunta muestra los valores tomados para los parámetros a tener en cuenta en el cálculo, así como el valor de diámetro mínimo necesario, para un tornillo de calidad 10.9.

Distancia entre tornillos en X	70 mm
Distancia entre tornillo en Y	70 mm
Fuerza en el eje X F_x	1369,55 N
Fuerza en el eje Y F_y	2324,24 N
Número de tornillos N	4 tornillos
Distancia d	150 mm
Distancia d1	49,49 mm
Distancia d2	34 mm
Fuerza en el tornillo F_{tornillo}	2654,41 N
Límite de fluencia elástico ζ_y	542,38 MPa
Diámetro mínimo	2,50 mm

Tabla 10. Cálculo diámetro mínimo de la espiga en los tornillos de sujeción del soporte

3.2.3. Placa del asiento

Para el dimensionado de los tornillos correspondientes a la placa del asiento, se tomará el caso más desfavorable, en el cual el operario apoye todo su peso sobre el extremo lateral del asiento. Se muestra el esquema de cargas.

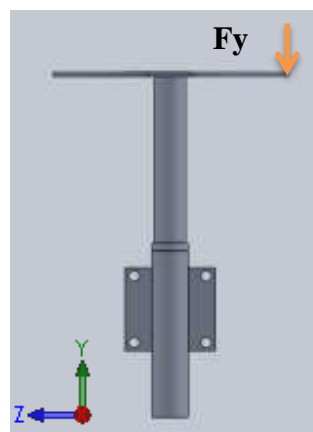


Figura 25. Esquema de carga sobre el asiento

La tabla adjunta muestra los resultados obtenidos, para unos tornillos de calidad 8.8.

Distancia entre tornillos en X	40 mm
Distancia entre tornillo en Y	70 mm
Fuerza en el eje Y F_y	1177,2 N
Número de tornillos N	4 tornillos
Distancia d	200 mm
Fuerza en el tornillo F_{tornillo}	1721,86 N
Límite de fluencia elástico ζ_y	380,82 MPa
Diámetro mínimo	2,51 mm

Tabla 11. Cálculo diámetro mínimo de la espiga en los tornillos de sujeción del asiento

3.2.4. Resultados

Como consecuencia de las condiciones de diseño impuestas, y con el objetivo de asegurar el cumplimiento de los valores de tensión en los tornillos, se tomarán valores de diámetro superiores a los mínimos. La tabla adjunta muestra los valores de diámetro mínimo, el diámetro seleccionado, así como la calidad de los tornillos correspondientes a cada estructura.

Estructura	Diámetro mínimo	Diámetro nominal	Calidad
Placa Hombro	2,43 mm	12 mm	8.8
Placa Soporte	2,50 mm	12 mm	10.9
Placa Asiento	2,39 mm	8 mm	8.8

Tabla 12. Diámetros mínimos calculados en los diferentes componentes

3.3. Cálculo de la resistencia de la rosca del tornillo

3.3.1. Estructura del hombro

3.3.1.1. Placa de la estructura del hombro

Para este caso, se explicará detalladamente el procedimiento llevado a cabo para la comprobación de la rosca de los tornillos. Estas serán comprobadas tanto a esfuerzo axial como a esfuerzo cortante.

En lo que respecta al esfuerzo axial, éste puede ser calculado teniendo en cuenta el *área de esfuerzo a tensión* A_t , definida a partir del promedio de los diámetros menor d_r y de paso d_p de la rosca.

$$A_t = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_p + d_r}{2} \right)^2$$

Donde, para roscas ISO.

$$d_p = d - 0,649519 \cdot p$$

$$d_r = d - 1,226869 \cdot p$$

Siendo d el diámetro mayor.

La tabla adjunta muestra el valor de paso, diámetro menor y área de esfuerzo a tensión para diferentes roscas de métrica ISO.

Métrica	Rocas bastas				Roscas finas		
	d [mm]	p [mm]	d_r [mm]	A_t [mm ²]	p [mm]	d_r [mm]	A_t [mm ²]
6	6	1,00	4,77	20,12			
7	7	1,00	5,77	28,86			
8	8	1,25	6,47	36,61	1,00	6,77	39,17
10	10	1,50	8,16	57,99	1,25	8,47	61,20
12	12	1,75	9,85	84,27	1,25	10,47	92,07
14	14	2,00	11,55	115,44	1,50	12,16	124,55
16	16	2,00	13,55	156,67	1,50	14,16	167,25
18	18	2,50	14,93	192,47	1,50	16,16	216,23

Tabla 13. Características de las diferentes métricas

Siendo el esfuerzo en la varilla roscada o tornillo.

$$\sigma_t = \frac{F}{A_t} \leq \sigma_y$$

El esfuerzo cortante es la capacidad de la rosca para evitar ser barrida. En este caso, se tomará como consideración el peor caso posible, en el cual toda la carga aplicada será soportada por una rosca. Por tanto, el *área cortante de barrido* A_S para un tornillo y para una tuerca respectivamente será:

$$A_{S,tornillo} = \pi \cdot d_r \cdot w_i \cdot p$$

$$A_{S,tuerca} = \pi \cdot d \cdot w_o \cdot p$$

Donde w_i y w_o es un factor de área que define el porcentaje de paso ocupado por metal en el diámetro menor. La tabla adjunta muestra los valores para roscas ISO.

Tipo de Rosca	w_i	w_o
ISO	0,8	0,88

Tabla 14. Factor de área para roscas ISO

Por tanto, el esfuerzo cortante para el barrido de roscas se determina como:

$$\zeta_t = \frac{F}{A_s} \leq \zeta_y$$

Se explicarán detalladamente los pasos a seguir para la determinación de las tensiones en la rosca, en el caso para el cual el brazo se encuentra a 0 grados sobre la horizontal. Sin embargo, únicamente se mostrarán los resultados del caso más desfavorable, que es aquel en el cual el brazo se encuentra cerrado a 10 grados. Se definen los siguientes esquemas de carga.

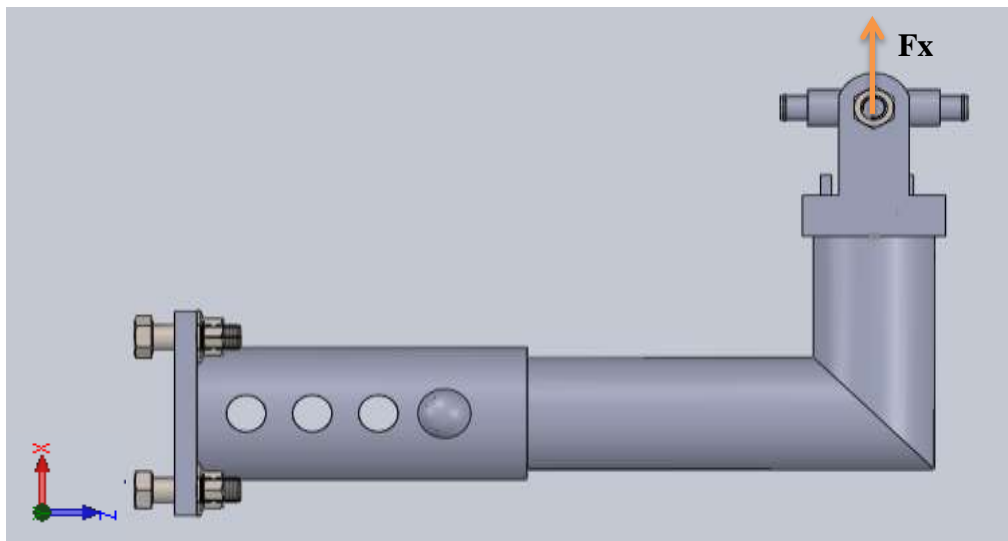


Figura 26. Esquema de carga para hombro a 0 grados respecto planta

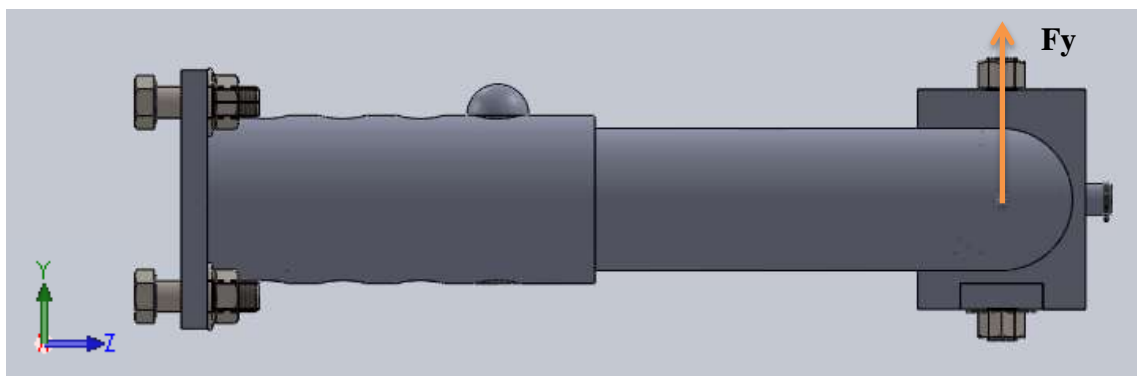


Figura 27. Esquema de carga para hombro a 0 grados respecto alzado

La carga aplicada sobre el eje X genera un momento sobre el centro de gravedad de los tornillos, que se encuentran a una distancia dl de la carga. Se tomará el mayor valor

de d_1 posible, con el objetivo de comprobar el peor caso, que será cuando el hombro esté completamente extendido.

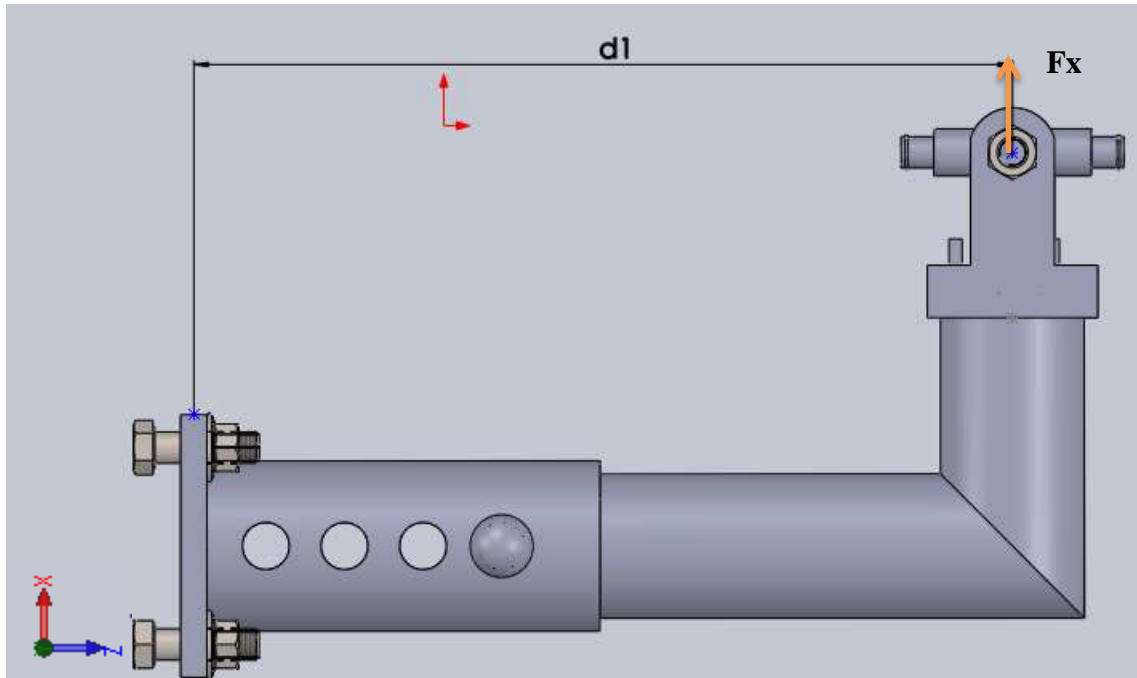


Figura 28. Momento flector producido por F_x

Por tanto, el momento flector generado por la fuerza F_x sobre el centro de gravedad de los tornillos se define como.

$$M_{T1} = F_x \cdot d_1$$

Este momento generará una fuerza axial sobre los tornillos F_{aT1} , la cual dependerá de la distancia de estos hasta el centro de gravedad del conjunto en este eje.

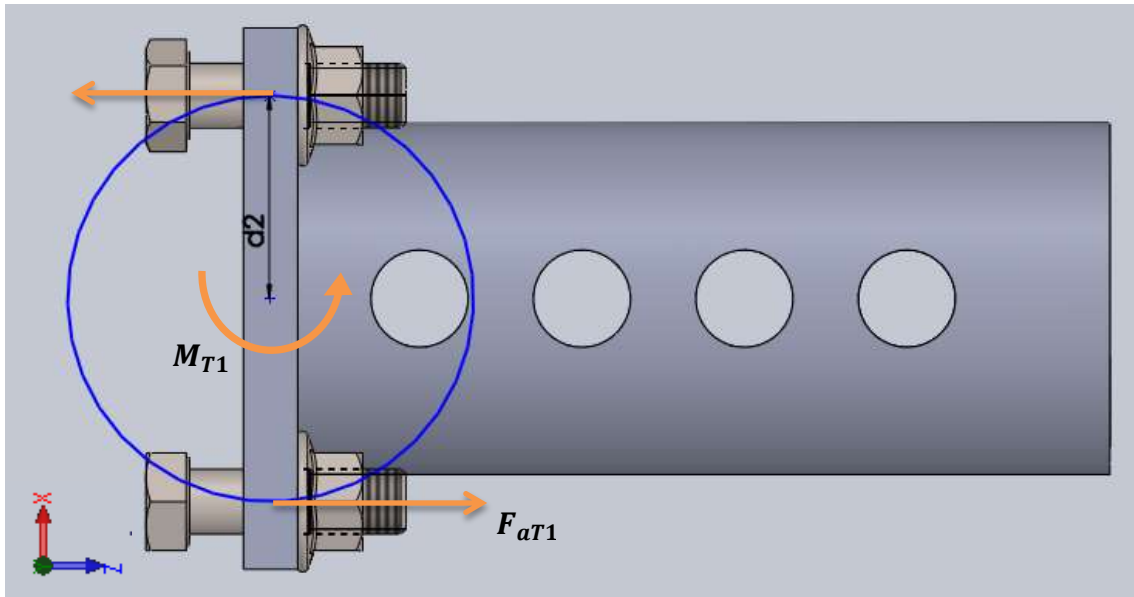


Figura 29. Esquema del momento flector soportado

Se observa que un par de tornillos se encuentran a tracción y los otros a compresión, dado que la fuerza aplicada es tangente a la circunferencia descrita por el momento. Por tanto, la fuerza axial aplicada sobre los tornillos puede definirse como:

$$F_{aT1} = \frac{M_{T1}}{N \cdot d_2}$$

Donde N será el número de tornillos solicitados por la fuerza.

La carga aplicada sobre el eje Y también genera un momento sobre el centro de gravedad de los tornillos, encontrándose también a una distancia $d1$ de la carga.

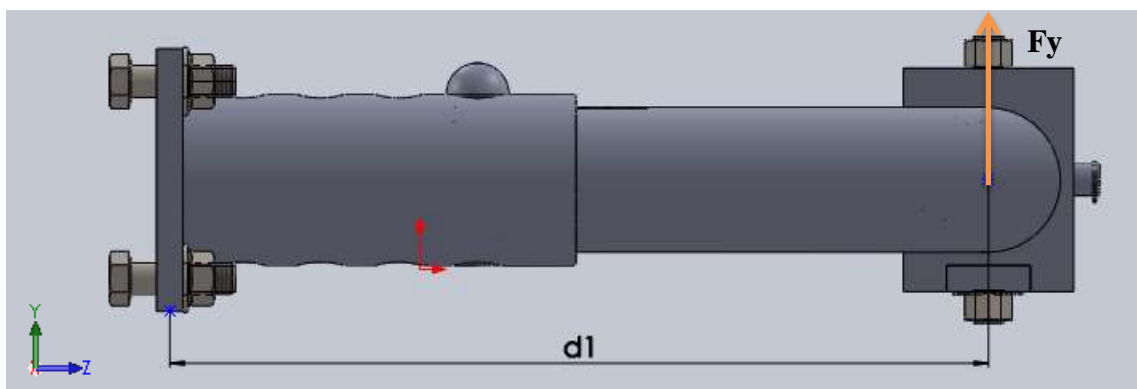


Figura 30. Momento flector producido por F_y

Por tanto, el momento flector generado por la fuerza F_y sobre el centro de gravedad de los tornillos se define como.

$$M_{T2} = F_y \cdot d_1$$

Este momento generará una fuerza axial sobre los tornillos F_{aT2} , la cual dependerá de la distancia de estos hasta el centro de gravedad del conjunto en este eje.

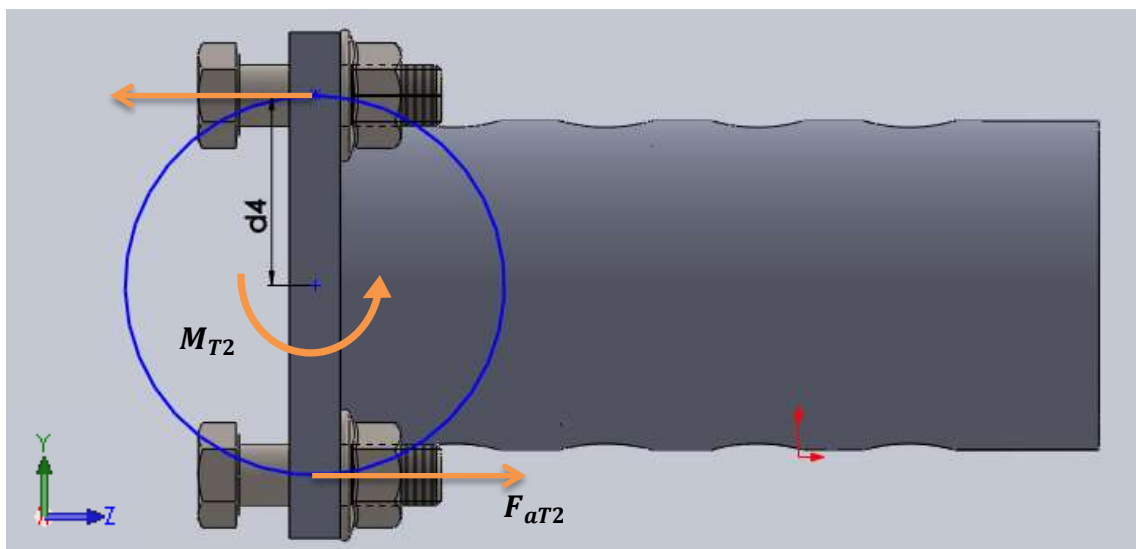


Figura 31. Esquema del momento flector soportado

Al igual que en el caso anterior, un par de tornillos se encontrarán a tracción, y otro par a compresión. Por tanto, la fuerza axial aplicada sobre los tornillos puede definirse como:

$$F_{aT2} = \frac{M_{T2}}{N \cdot d_4}$$

Obsérvese que, para este caso, el valor de F_{aT2} es constante para todos los casos, dado que la distancia d_1 no varía de uno a otro.

La fuerza axial total será la suma de ambos casos, la cual se dará en el tornillo más solicitado.

$$F_{aT} = F_{aT1} + F_{aT2}$$

Esta fuerza axial generará una tensión tanto axial como de corte en la rosca del tornillo, la cual deberá ser comparada con el valor límite tomado.

$$\sigma_{t,tornillo} = \frac{F_{aT}}{A_t} \leq \sigma_y$$

$$\zeta_{t,tornillo} = \frac{F_{aT}}{A_{s,tornillo}} \leq \zeta_y$$

Así mismo, se debe comprobar que la tensión de corte generada en la tuerca no supera el valor límite tomado, y que la longitud de ésta es suficiente para que la longitud de barrido sea mayor que la resistencia a tensión del tornillo.

$$\zeta_{t,tuerca} = \frac{F_{aT}}{A_{s,tuerca}} \leq \zeta_y$$

$$L_{tuerca} \geq 0,5 \cdot d$$

Para el caso más desfavorable, se muestran las hipótesis de carga tomadas.

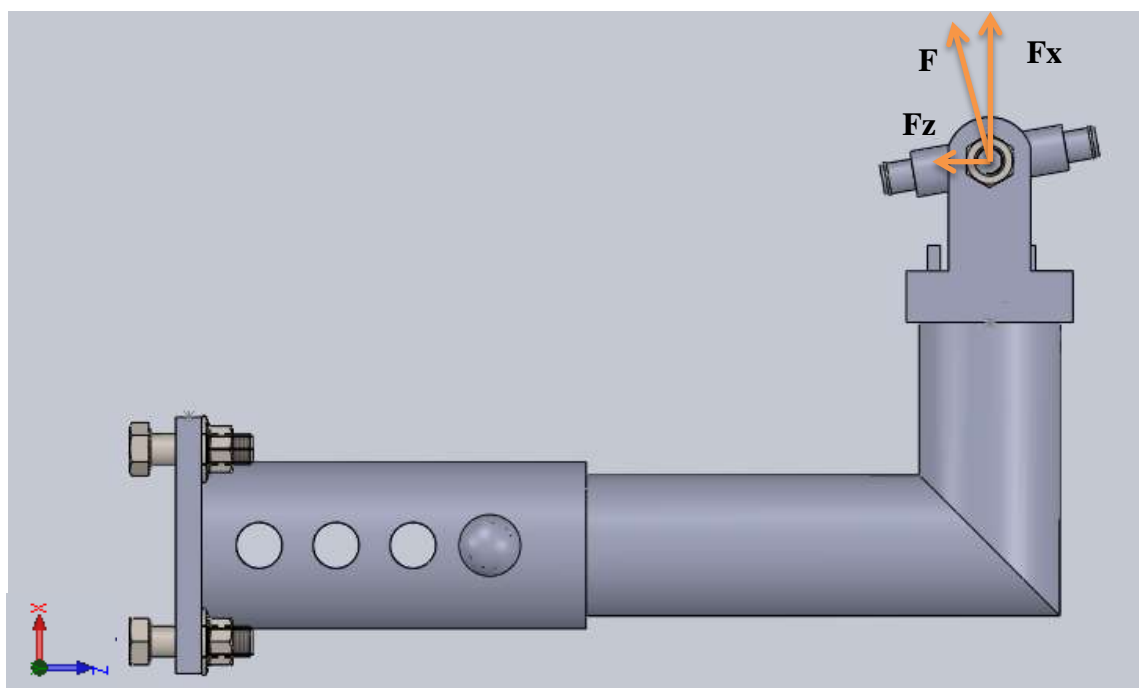


Figura 32. Esquema de carga para hombro a 10 grados respecto planta

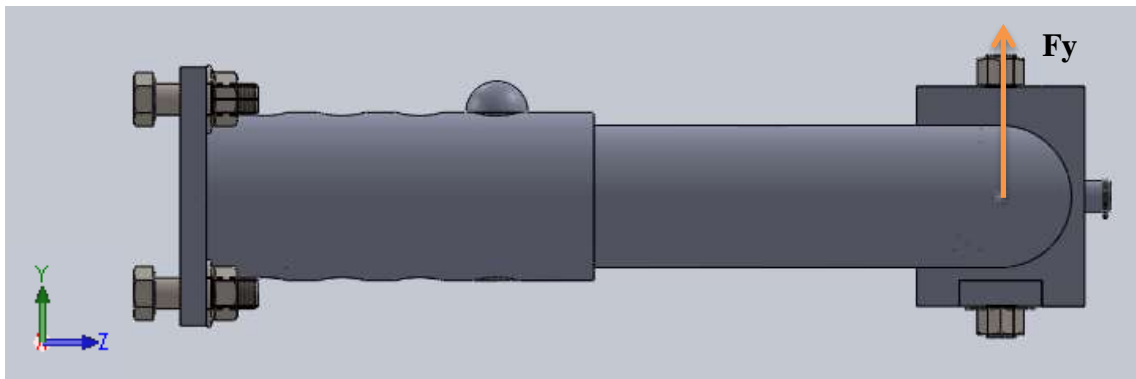


Figura 33. Esquema de carga para hombro a 10 grados respecto alzado

En este caso, será necesario descomponer la fuerza para cada eje, con el objetivo de determinar los momentos flectores generados por cada una. El momento generado por la componente en Z F_z dependerá de la distancia hasta el centro de gravedad de los tornillos en X.

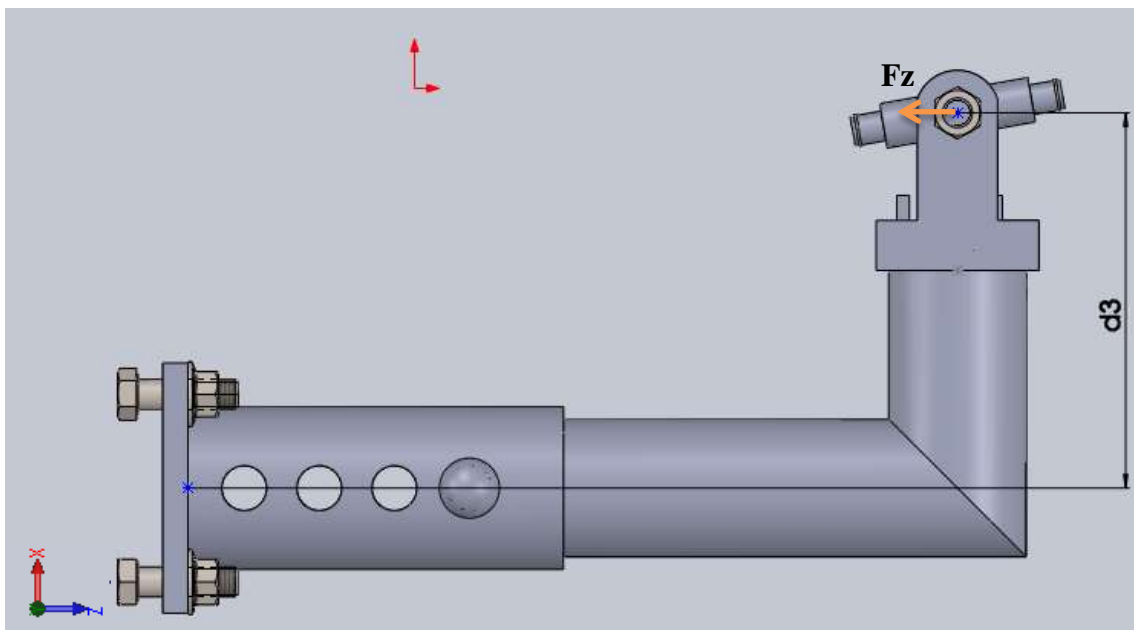


Figura 34. Momento flector producido por F_z

La tabla adjunta muestra los resultados obtenidos para este caso.

Calidad	8.8
Fuerza F	1369,55 N
Fuerza en Y F_Y	1637,54 N
Diámetro d	12 mm
Área del tornillo A_t	84,27 mm ²
Área del tornillo A_s	43,34 mm ²
Área de la tuerca A_s	58,06 mm ²
Distancia en Z d_1	312,5 mm
Distancia en X d_3	150 mm
Nº de tornillos solicitados	2
Distancia d_2	35 mm
Distancia d_4	35 mm
Fuerza axial total F_{at}	13841,24 N
Límite de fluencia elástico ζ_y	380,82 MPa
Límite de fluencia elástico σ_y	660 MPa
Tensión tornillo σ_t	164,26 MPa
Tensión tornillo ζ_t	319,40 MPa
Tensión tuerca ζ_t	238,41 MPa
Longitud tuerca L	6 mm

Tabla 15. Características de tornillos y tuercas estimados para hombro 10 grados

3.3.1.2. Cilindro giratorio de la estructura del hombro

Se muestra el esquema de cargas.

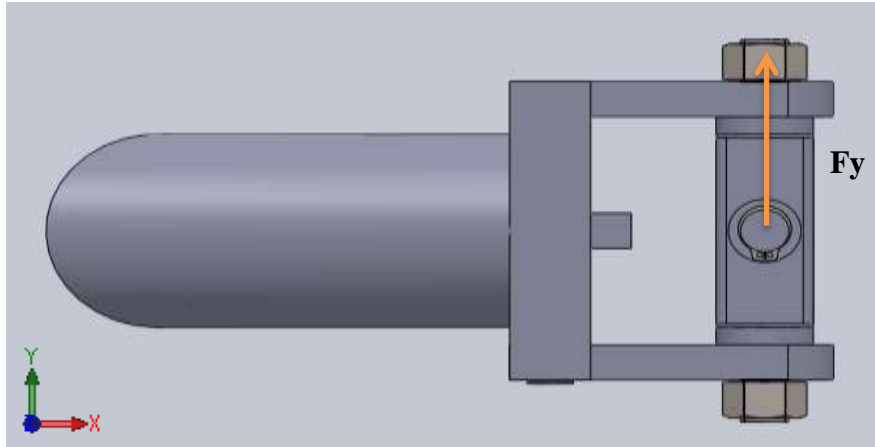


Figura 35. Esquema de carga para el cilindro del hombro

En este caso, la carga F_y se aplicará directamente sobre la rosca. Tomando el caso más desfavorable, se supondrá que únicamente trabaja una única rosca.

La tabla adjunta muestra los resultados obtenidos.

Fuerza en Y F_y	1637,54 N
Diámetro d	12 mm
Área del tornillo A_t	84,27 mm ²
Área del tornillo A_s	43,34 mm ²
Área de la tuerca A_s	58,06 mm ²
Nº de tornillos solicitados	1
Tensión tornillo σ_t	19,43 MPa
Tensión tornillo ζ_t	37,79 MPa
Tensión tuerca ζ_t	28,21 MPa
Longitud tuerca L	6,00 MPa

Tabla 16. Características de tornillos y tuercas estimados para el cilindro del hombro

3.3.2. Estructura de soporte

3.3.2.1. Placa de la estructura de soporte

Al igual que para el apartado 3.3.1, únicamente se mostrarán los valores para el caso más desfavorable, aquel en el cual el brazo se encuentra cerrado 10 grados. Se muestra el esquema de cargas para este caso.

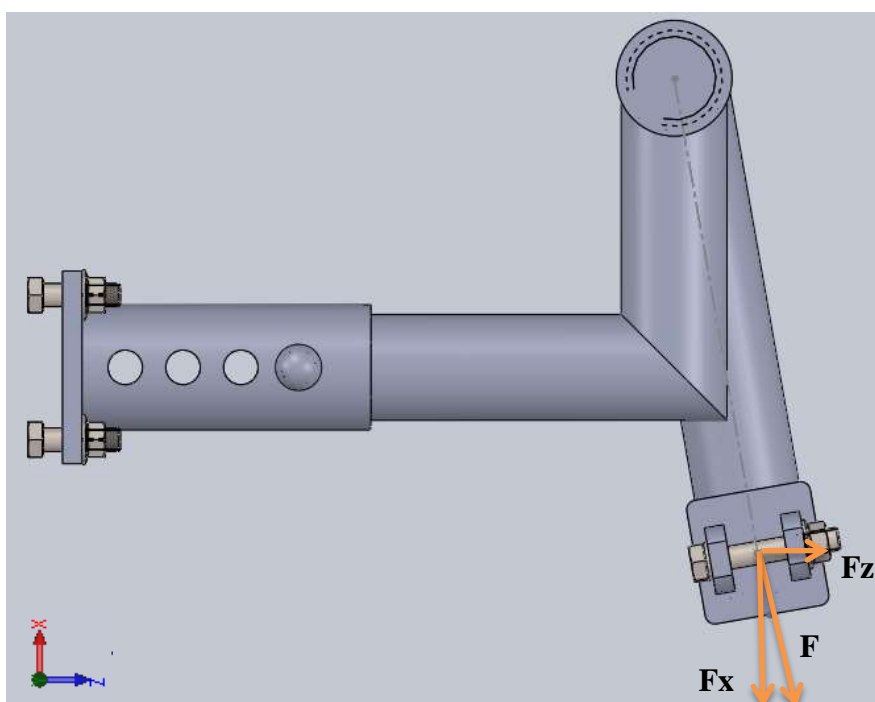


Figura 36. Esquema de cargas para la estructura soporte a 10 grados respecto planta

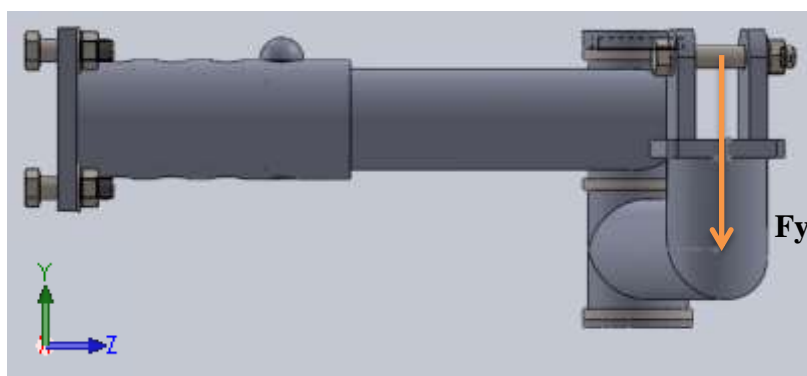


Figura 37. Esquema de cargas para la estructura soporte a 10 grados respecto alzado

Para este caso, tanto la distancia $d1$ como la distancia $d3$ varían.

La tabla adjunta muestra los resultados obtenidos.

Calidad	10.9
Fuerza F	1396,55 N
Fuerza en Y F_Y	2324,24 N
Diámetro d	12 mm
Área del tornillo A_t	84,27 mm ²
Área del tornillo A_s	43,34 mm ²
Área de la tuerca A_s	58,06 mm ²
Distancia en Z $d1$	334,21 mm
Distancia en X $d3$	98,1 mm
Nº de tornillos solicitados	2
Distancia $d2$	35 mm
Distancia $d4$	35 mm
Fuerza axial total F_{at}	17203,11 N
Límite de fluencia elástico ζ_y	542,38 MPa
Límite de fluencia elástico σ_y	940 MPa
Tensión tornillo σ_t	204,15 MPa
Tensión tornillo ζ_t	396,97 MPa
Tensión tuerca ζ_t	296,32 MPa
Longitud tuerca L	6,00 mm

Tabla 17. Características de tornillos y tuercas estimados para el soporte del actuador a 10 grados

3.3.2.2. Bisagra de la estructura de soporte

Al igual que para el caso del cilindro giratorio, se tomará que la carga F_Y actúa directamente sobre la rosca. Se muestra el esquema de cargas.

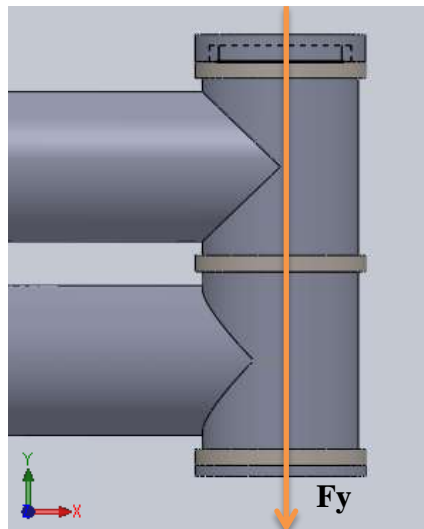


Figura 38. Esquema de carga para la bisagra de la estructura soporte

La tabla adjunta muestra los resultados obtenidos.

Fuerza en Y F_Y	2324,24 N
Diámetro d	45 mm
Área del tornillo A_t	1492,51 mm ²
Área del tornillo A_s	162,71 mm ²
Área de la tuerca A_s	186,61 mm ²
Nº de tornillos solicitados	1
Tensión tornillo σ_t	1,56 MPa
Tensión tornillo ζ_t	14,28 MPa
Tensión tuerca ζ_t	12,46 MPa
Longitud tuerca L	22,5 mm

Tabla 18. Características de tornillos y tuercas estimados para la bisagra de la estructura soporte

Para este caso, dado que las tensiones dadas en la rosca son relativamente pequeñas, se seleccionará una tuerca con una longitud inferior a la estipulada en la tabla.

3.3.3. Placa del asiento

Para este caso, se tomará la situación más desfavorable, para la cual el operario apoye todo su peso en el punto más alejado del asiento de la placa.

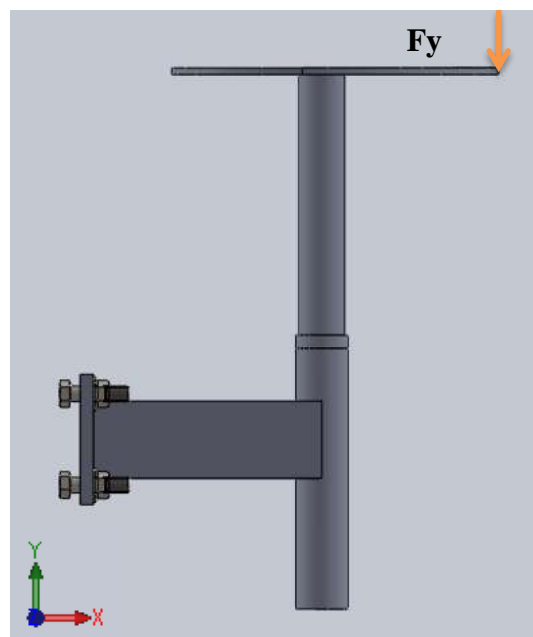


Figura 39. Esquema de carga para el asiento

La tabla adjunta muestra los resultados obtenidos.

Calidad	8.8
Fuerza en Y F_Y	1177,2 N
Diámetro d	8 mm
Área del tornillo A_t	36,61 mm ²
Área del tornillo A_s	20,31 mm ²
Área de la tuerca A_s	27,65 mm ²
Nº de tornillos solicitados	2
Distancia d_l	313 mm
Fuerza Axial F_{aT}	5263,67 N
Límite de fluencia elástico ζ_y	380,82 MPa
Límite de fluencia elástico σ_y	660 MPa
Tensión tornillo σ_t	143,79 MPa
Tensión tornillo ζ_t	259,11 MPa
Tensión tuerca ζ_t	190,40 MPa
Longitud tuerca L	4 mm

Tabla 19. Características de tornillos y tuercas estimados para el asiento

3.3.4. Resultados

En la tabla adjunta se muestran los valores de tensión máximos obtenidos para cada elemento, así como el diámetro tomado y la calidad.

	Diámetro	ζ_{\max}	Calidad
Placa Hombro	12 mm	319,40 MPa	8.8
Cilindro Giratorio	12 mm	37,79 MPa	-
Placa Soporte	12 mm	396,97 MPa	10.9
Bisagra	45 mm	14,28 MPa	-
Placa Asiento	8 mm	259,11 MPa	8.8

Tabla 20. Roscas escogidas y sus características

Descartando tanto el diámetro del cilindro giratorio como el de la bisagra, los cuales tienen esas medidas por condiciones del diseño, el resto de componentes presentan unos valores de tensión para los cuales se justifican las medidas y calidades tomadas.

4. Análisis de la estructura del hombro

4.1. Objeto

El presente apartado pretende justificar las dimensiones tomadas para el estructura del hombro a partir de un análisis de tensiones de Von Mises y desplazamientos empleando el software de elementos finitos SolidWorks™.

4.2. Consideraciones




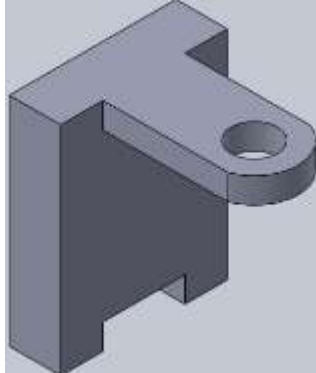
Para el análisis de la presente estructura, se llevará a cabo un análisis de tensiones de Von Mises, desplazamientos y deformaciones unitarias para el caso más desfavorable, el cual se da cuando el brazo se encuentra cerrado a 10 grados sobre la horizontal. Se analizará la situación más desfavorable para éste, la cual se da cuando el hombro se encuentra completamente extendido. Además, se tomarán las fuerzas de reacción más desfavorables, las cuales se dan cuando el brazo del exoesqueleto se encuentra completamente extendido, a 40 grados sobre la horizontal. Así mismo, en la estructura a simular se han suprimido tanto los tornillos que sujetarán la estructura al perfil de la columna, así como las tuercas y arandelas del cilindro giratorio. Se emplearán los materiales listados en la tabla adjunta.

Material	Acero AISI 1020 Laminado en frío	Acero E-355	Cobre berilio, UNS 17000
Límite Elástico	350 MPa	355 MPa	221 MPa

Tabla 21. Límite elástico para los distintos materiales del estudio.

4.3. Materiales de cada elemento

A continuación, se nombrarán todos los elementos empleados para el estudio, así como el material asignado para cada uno de ellos.

Elemento	Nombre	Material
	Perfil tubular exterior y placa de sujeción a la espalda	Acero AISI 1020 laminado en frío
	Piezas retráctiles soldadas	Acero E-355
	Perno pieza retráctil	Acero AISI 1020 laminado en frío
	Base de la horquilla y oreja soldada	Acero AISI 1020 laminado en frío

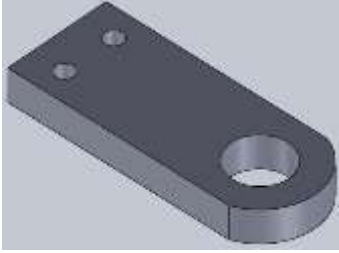
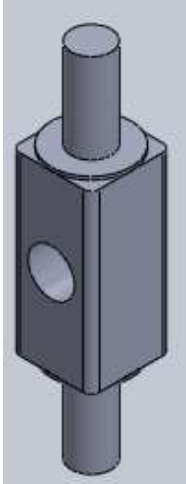
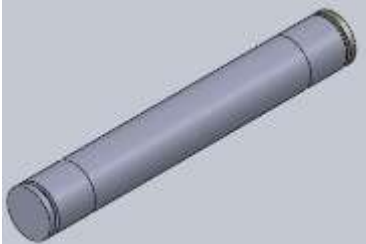
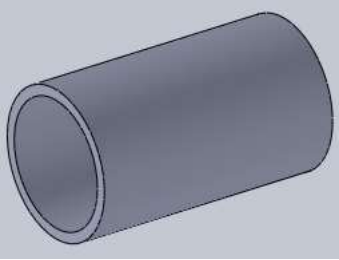
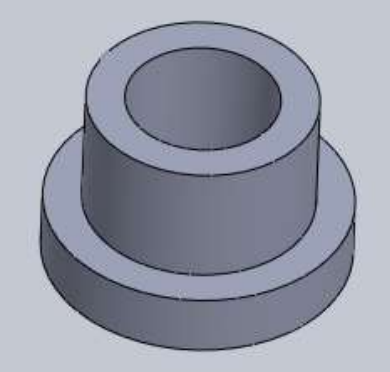
	<p>Oreja desmontable</p>	<p>Acero AISI 1020 laminado en frío</p>
	<p>Cilindro giratorio</p>	<p>Acero AISI 1020 laminado en frío</p>
	<p>Perno del sistema móvil del hombro</p>	<p>AISI 1020 laminado en frío</p>
	<p>Buje situado entre el perno del sistema móvil del hombro y el cilindro giratorio</p>	<p>Cobre Berilio, UNS C17000</p>
	<p>Buje situado entre el cilindro giratorio y las orejas de la horquilla</p>	<p>Cobre Berilio, UNS C17000</p>

Tabla 22. Materiales de los componentes de la estructura del hombro76

4.4. Restricciones

4.4.1. Sujeciones de la estructura

Se muestra a continuación las restricciones tenidas en cuenta en la simulación, aquellas que restringirán los desplazamientos de la estructura. Se han tomado restricciones de tipo cilíndricas en los lugares donde la estructura estará sujeta, por medio de tornillos, a la estructura de la espalda. Del mismo modo, se ha colocado una restricción que evite que el perno se desplace en la dirección vertical, para evitar desplazamientos incoherentes durante la simulación.

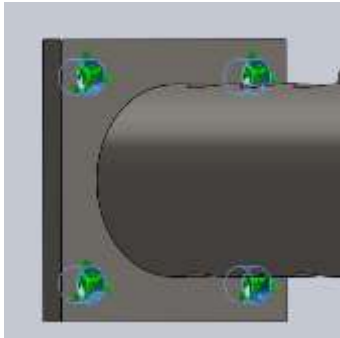
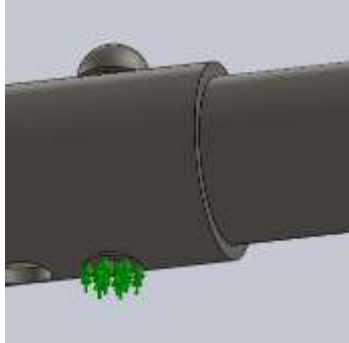
Tipo de sujeción	Imagen de la sujeción	Detalles de sujeción
Sujeción sobre caras cilíndricas		<p>Traslación radial: 0 mm</p> <p>Traslación circunferencial: 0 rad</p> <p>Traslación axial: 0 mm</p>
Sujeción sobre geometría de referencia		<p>Traslación en el eje Y: 0 mm</p>

Tabla 23. Sujeciones sobre la estructura

4.4.2. Condiciones de contacto

En lo que a las condiciones de contacto respecta, todas aquellas piezas que no se encuentren soldadas tendrán condición de impenetrabilidad.

4.5. Esquema de cargas

El siguiente esquema muestra el modelo con las cargas aplicadas.

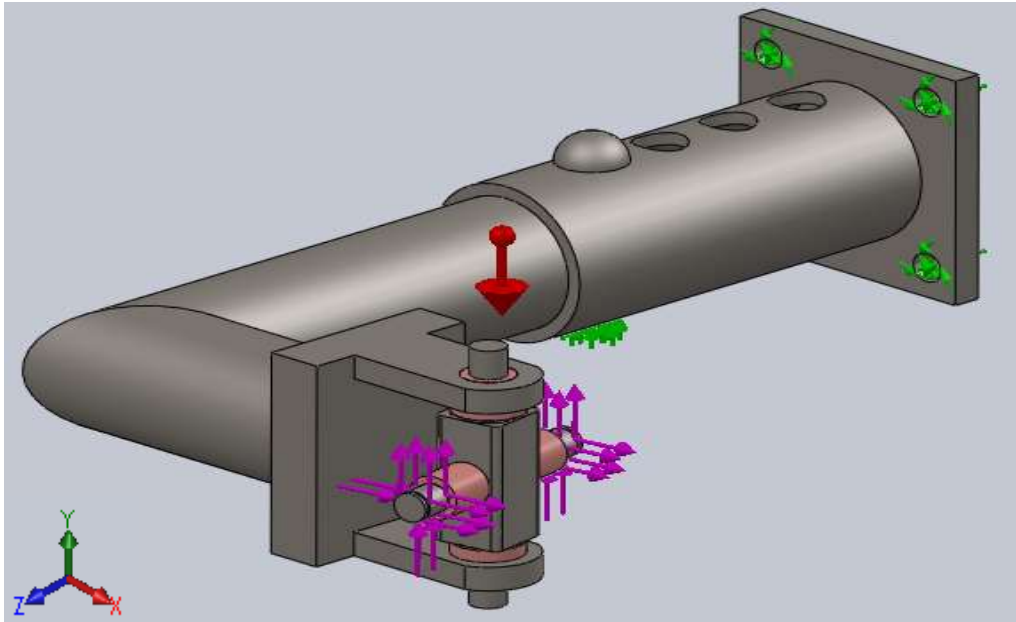


Figura 40. Esquema de cargas para la estructura del hombro.

En este caso, dado que el brazo se encontraría cerrado a 10 grados sobre la horizontal (el eje X en este caso), la fuerza aplicada en dirección horizontal no será perpendicular al eje Y, sino que lo será un plano inclinado 10 grados hacia dentro con respecto a éste. La imagen adjunta muestra el plano perpendicular a la carga.

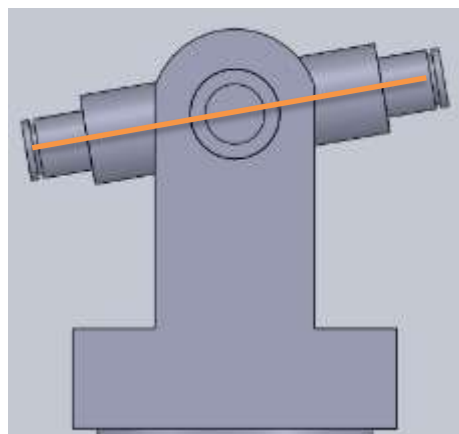


Figura 41. Esquema de la orientación del cilindro giratorio

La tabla adjunta muestra las hipótesis de carga tomadas.

Fuerza horizontal	Fuerza vertical en el eje Y	Gravedad
1369,55 N	1637,54 N	9,81 m/s ²

Tabla 24. Fuerzas aplicadas a la estructura del hombro

4.6. Mallado

Para llevar a cabo el mallado de la estructura, se ha tenido en cuenta la condición de impenetrabilidad de los elementos móviles, y como consecuencia se ha aplicado un control de mallado a estas zonas, con el objetivo de hacer más preciso el cálculo. La imagen adjunta muestra la malla tomada, así como las zonas donde se ha aplicado un control de mallado.

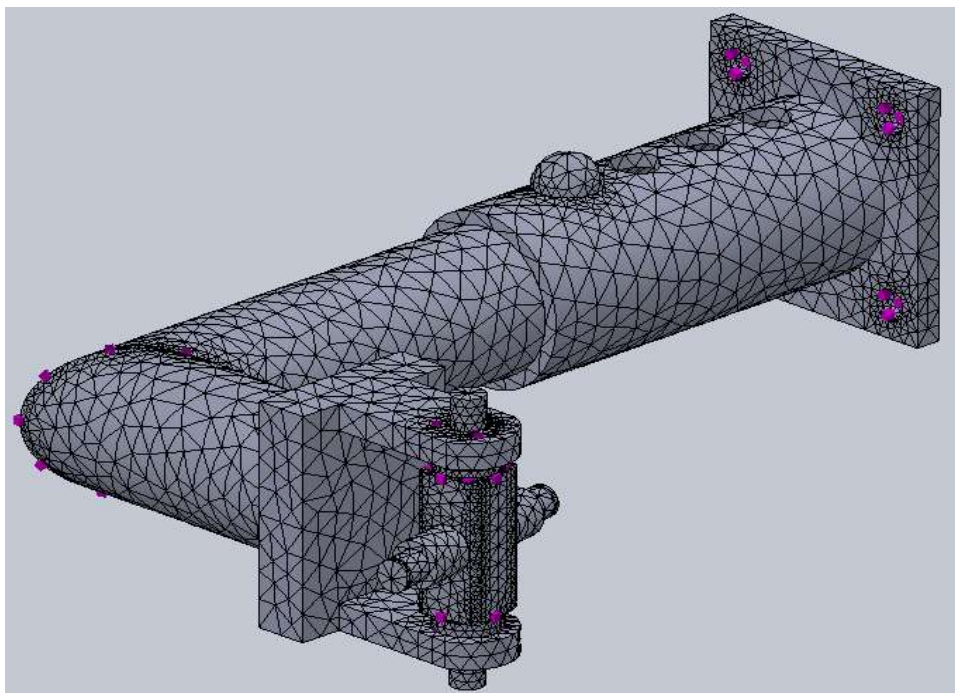
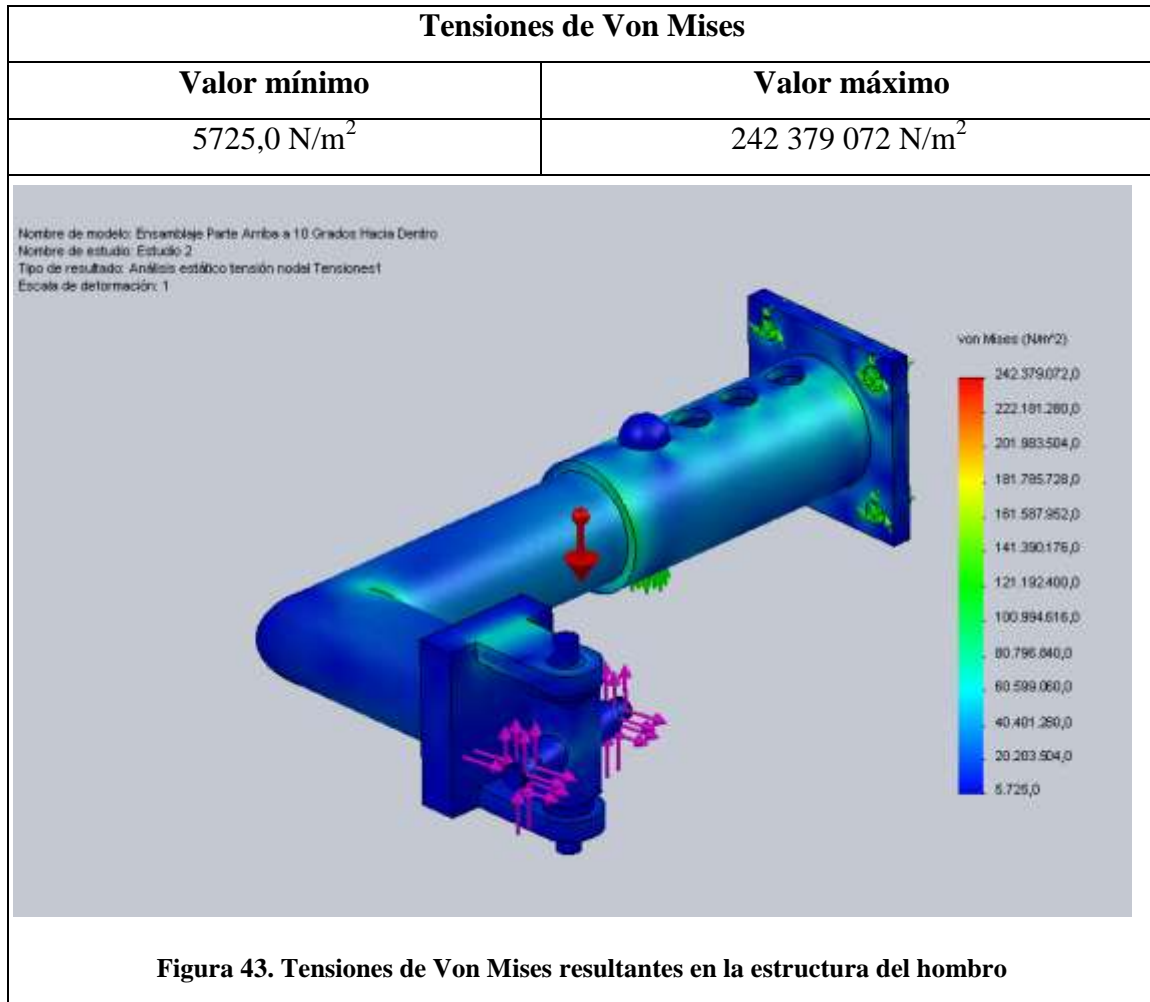
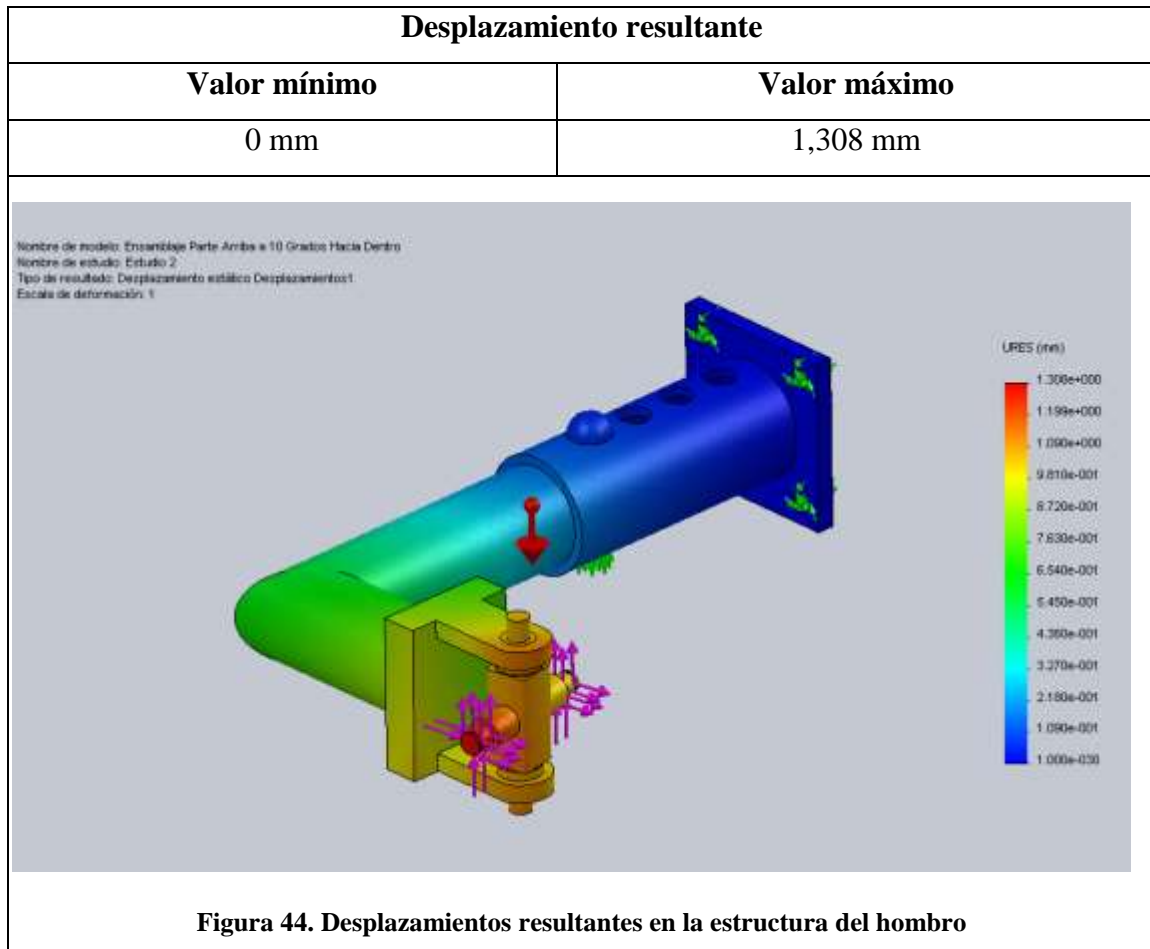


Figura 42. Malla establecida en la estructura del hombro

4.7. Resultados

Se muestran los resultados obtenidos de tensiones de Von Mises y desplazamiento.





4.8. Análisis de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se pueden obtener los valores de tensión de Von Mises y desplazamiento resultante máximos globales. La tabla adjunta muestra estos valores.

Resultado	Valor máximo
Tensión de Von Mises	242 379 072 N/m ²
Desplazamiento resultante	1,308 mm

Tabla 25. Valores máximos del estudio de la estructura del hombro

En lo que respecta a las tensiones de Von Mises obtenidas, se puede observar que en ningún momento superan los valores de límite elástico del acero tomado en consideración, que en este caso es de 355 MPa.. En este caso, factor de seguridad de la estructura con respecto al material empleado en el estudio será:

$$\text{factor de seguridad} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{355 \text{ MPa}}{242,38 \text{ MPa}} = 1,46$$

Estas tensiones máximas, además, se dan mayoritariamente como consecuencia de los contactos entre componentes. La imagen adjunta muestra, a través de la herramienta iso-superficies proporcionada por el programa, la zona donde las tensiones son máximas.

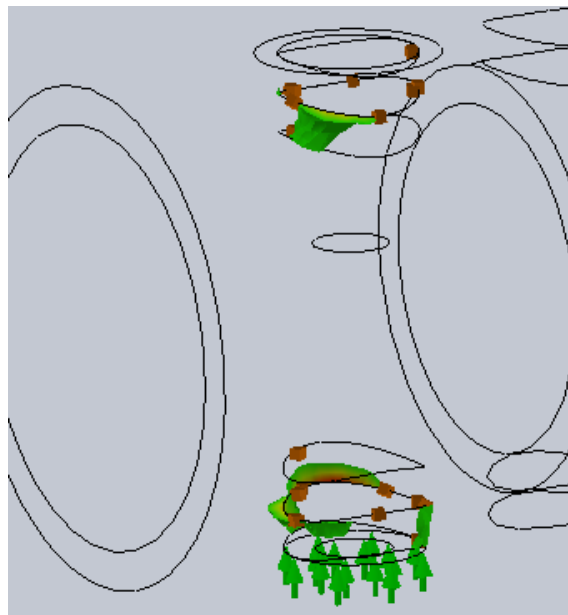


Figura 45. Concentración de tensiones en la estructura del hombro

Con respecto a los valores de tensión obtenidas en los bujes, estas tampoco superan el límite elástico del material. Las máximas tensiones en los componentes con éste material se dan en el buje situado entre el perno y el cilindro giratorio. Empleando la herramienta iso-superficies proporcionada por el programa, se muestra la situación de las máximas tensiones en el buje más solicitado.

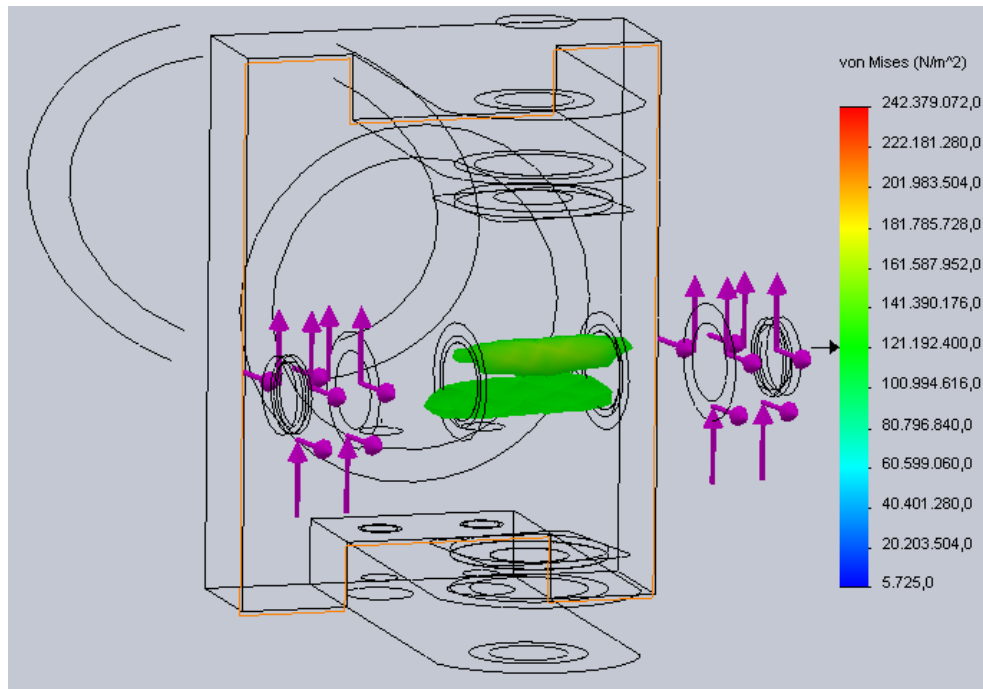


Figura 46. Tensiones Von Mises en el buje más solicitado

Por tanto, se puede tomar como que las máximas tensiones obtenidas para los bujes son de, como máximo, 180 MPa aproximadamente. Con ello se obtiene un coeficiente de seguridad con respecto al material del estudio de:

$$\text{factor de seguridad} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{221 \text{ MPa}}{180 \text{ MPa}} = 1,227$$

Con respecto a los máximos valores de desplazamiento, estos son de un valor muy reducido, y como consecuencia considerados admisibles en la estructura.

4.8.1. Análisis de soldaduras

Con el objetivo de asegurar la resistencia y aptitud de la soldadura existente en las piezas analizadas en el presente anexo, se realiza una comprobación de tensiones en las zonas destinadas a este fin.

Se realiza una localización de las tensiones más elevadas en las zonas soldadas para el caso de carga más desfavorable y se le aplica un coeficiente reductor de 0,8 a la resistencia de la soldadura. Con ambas tensiones, se comprobará que la tensión alcanzada sea inferior a la tensión admisible por la soldadura.

Se tomará como propiedades del material de aporte las mismas a las del metal base ya que al tratarse de aceros al carbono, la soldadura es de alta calidad. La tensión admisible de la soldadura será el producto entre un factor de 0,8 y la menor tensión del límite elástico de los metales a unir. En este caso, la tensión equivalente al límite de la región elástica, será de 350 MPa. Se muestran los valores máximos de soldadura así como su localización, y se comparan con el valor límite de soldadura.

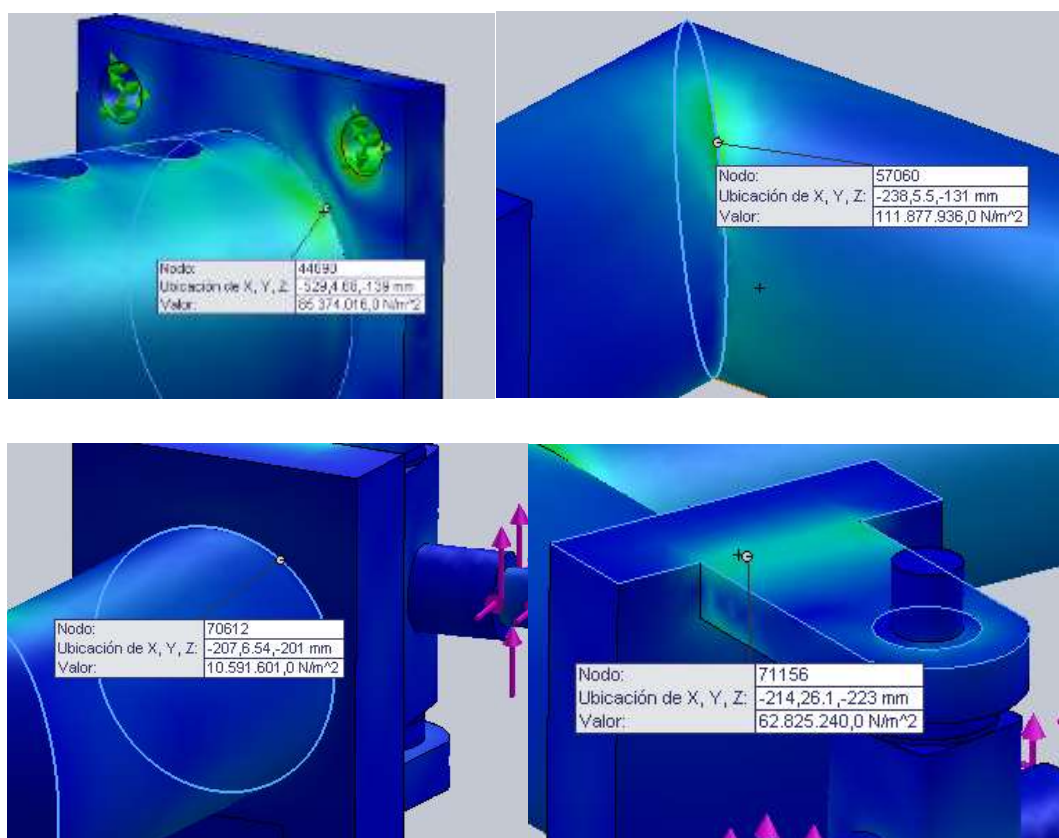


Figura 47. Tensiones localizadas en la zona de soldadura

Zona	Tensión máxima	Tensión límite soldadura
Placa y perfil tubular	85 374 016,0 N/m ²	280 000 000 N/m ²
Perfiles soldados retráctiles	111 877 936,0 N/m ²	280 000 000 N/m ²
Perfil tubular soldado con horquilla	10 591 601,0 N/m ²	280 000 000 N/m ²
Oreja soldada de la horquilla	62 825 240,0 N/m ²	280 000 000 N/m ²

Tabla 26. Tensiones límite de las uniones soldadas

Por tanto, se observa que los valores máximos obtenidos en la soldadura son muy inferiores a los límites tomados. En concreto, el factor de seguridad con respecto al valor máximo de tensión será:

$$\mathbf{factor\ de\ seguridad} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{280\ MPa}{111,877\ MPa} = \mathbf{2,50}$$

5. Análisis de la estructura de soporte

5.1. Objeto

El presente apartado pretende justificar las dimensiones tomadas para el estructura de soporte a partir de un análisis de tensiones de Von Mises y desplazamientos empleando el software de elementos finitos SolidWorks™.

5.2. Consideraciones

En lo que a consideraciones del estudio se refiere, se tomarán en cuenta las mismas que para el dimensionado de la estructura del hombro (apartado 4), incluidos los casos de estudio y materiales.

En este caso, se suprimirá la tuerca DIN 1804 encargada de sujetar el buje de bronce roscado, y en su lugar se le colocará una tapa, la cual se considerará sólida con el buje. La imagen adjunta muestra el elemento mencionado.

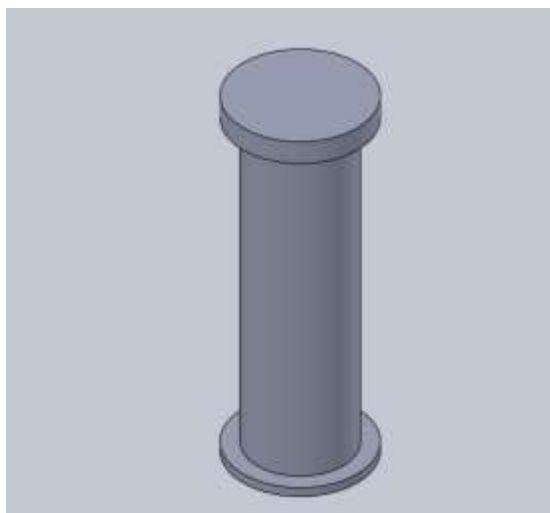
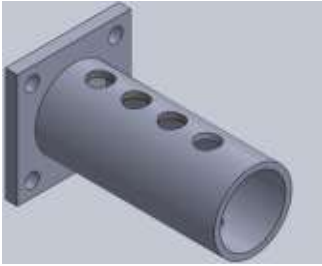
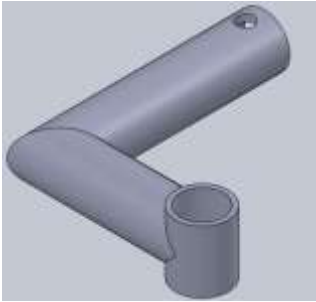





Figura 48. Bujete establecido para la simulación

5.3. Materiales de cada elemento

A continuación, se nombrarán todos los elementos empleados para el estudio, así como el material asignado para cada uno de ellos.

Elemento	Nombre	Material
	Perfil tubular exterior y placa de sujeción a la espalda.	Acero AISI 1020 laminado en frío.
	Piezas retráctiles soldadas.	Acero E-355
	Perno pieza retráctil.	Acero AISI 1020 laminado en frío.
	Buje de bronce con tapa inferior soldada y tapa superior simulando sujeción de la tuerca.	Cobre Berilio, UNS C17000.
	Arandela.	Acero AISI 1020 laminado en frío.

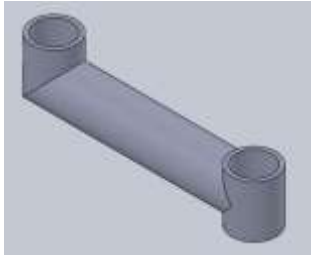
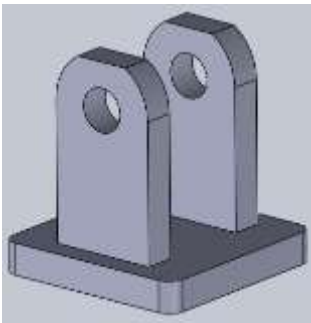
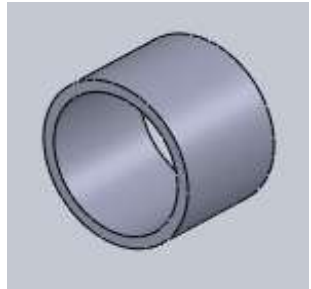
	<p>Piezas soldadas parte inferior bisagra.</p>	<p>Acero E-355</p>
	<p>Horquilla de la estructura de soporte.</p>	<p>AISI 1020 laminado en frío.</p>
	<p>Buje situado en las orejas de la horquilla.</p>	<p>Cobre Berilio, UNS C17000.</p>

Tabla 27. Materiales de los componentes de la estructura soporte

5.4. Restricciones

5.4.1. Sujeciones de la estructura

En este caso, las restricciones de la estructura de soporte coincidirán con las de la estructura del hombro (apartado 4.4.1).

5.4.2. Condiciones de contacto

En lo que a las condiciones de contacto respecta, todas aquellas piezas que no se encuentren soldadas tendrán condición de impenetrabilidad, igual que en el apartado 4.4.2.

5.5. Esquema de cargas.

El siguiente esquema muestra el modelo con las cargas aplicadas.

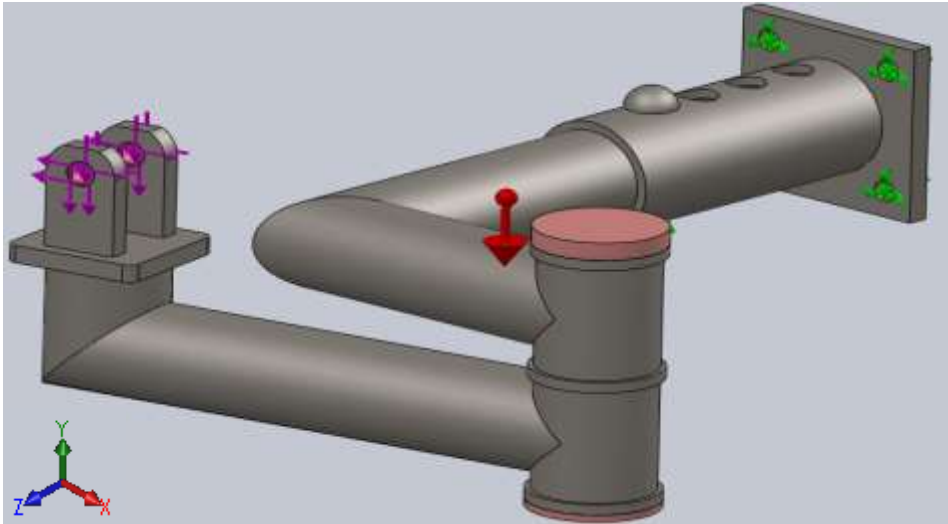


Figura 49. Esquema de carga sobre la estructura de soporte

Del mismo modo que para el dimensionado de la estructura del hombro, al situarse el sistema de bisagra a 10 grados hacia fuera (como consecuencia del cierre del brazo 10 grados), la fuerza horizontal no será paralela al eje X. Esta lo será al ancho de la horquilla. La imagen adjunta muestra el plano paralelo a las cargas.

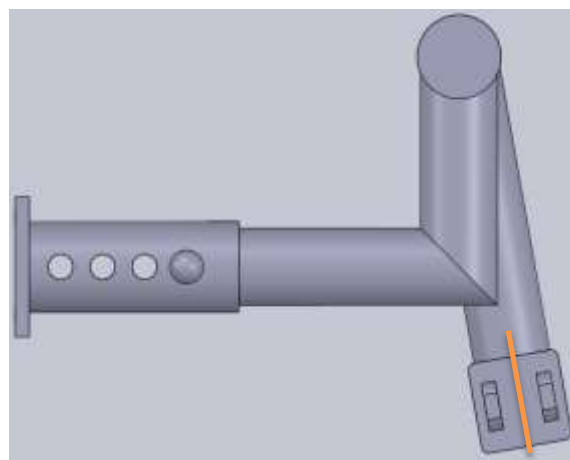


Figura 50. Esquema de la posición de la estructura de soporte

La tabla adjunta muestra las hipótesis de carga tomadas.

Fuerza horizontal	Fuerza vertical en el eje Y	Gravedad
-1369,55 N	-2324,24 N	9,81 m/s ²

Tabla 28. Fuerzas aplicadas a la estructura de soporte

5.6. Mallado

Se lleva a cabo un mallado fino en la estructura, con el objetivo de conseguir resultados lo más precisos posible. Así mismo, se aplicará un control de mallado en aquellas zonas en las que exista contacto entre componentes, así como en las uniones soldadas. La imagen adjunta muestra la malla tomada, así como los controles de mallado.

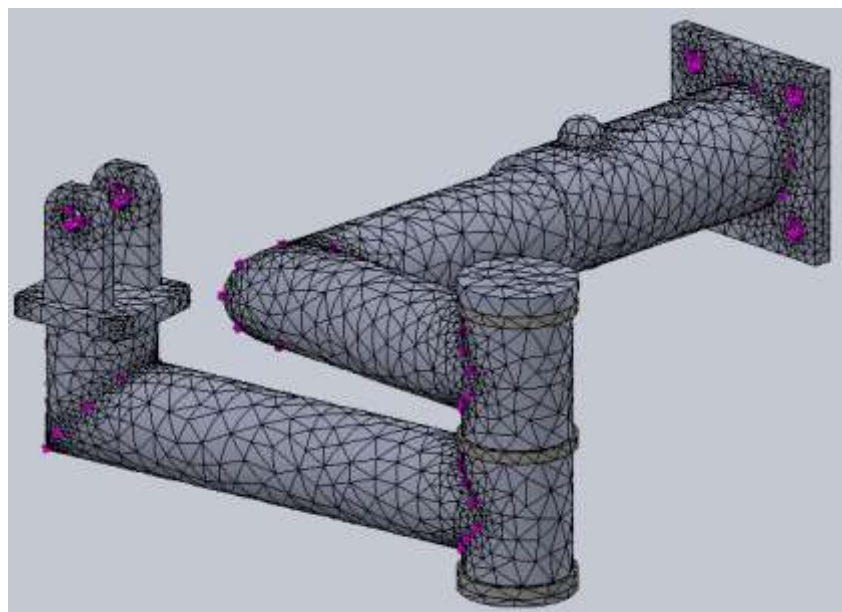


Figura 51. Malla establecida en la estructura de soporte

5.7. Resultados

Se muestran los resultados obtenidos de tensiones de Von Mises, desplazamiento y deformaciones unitarias.

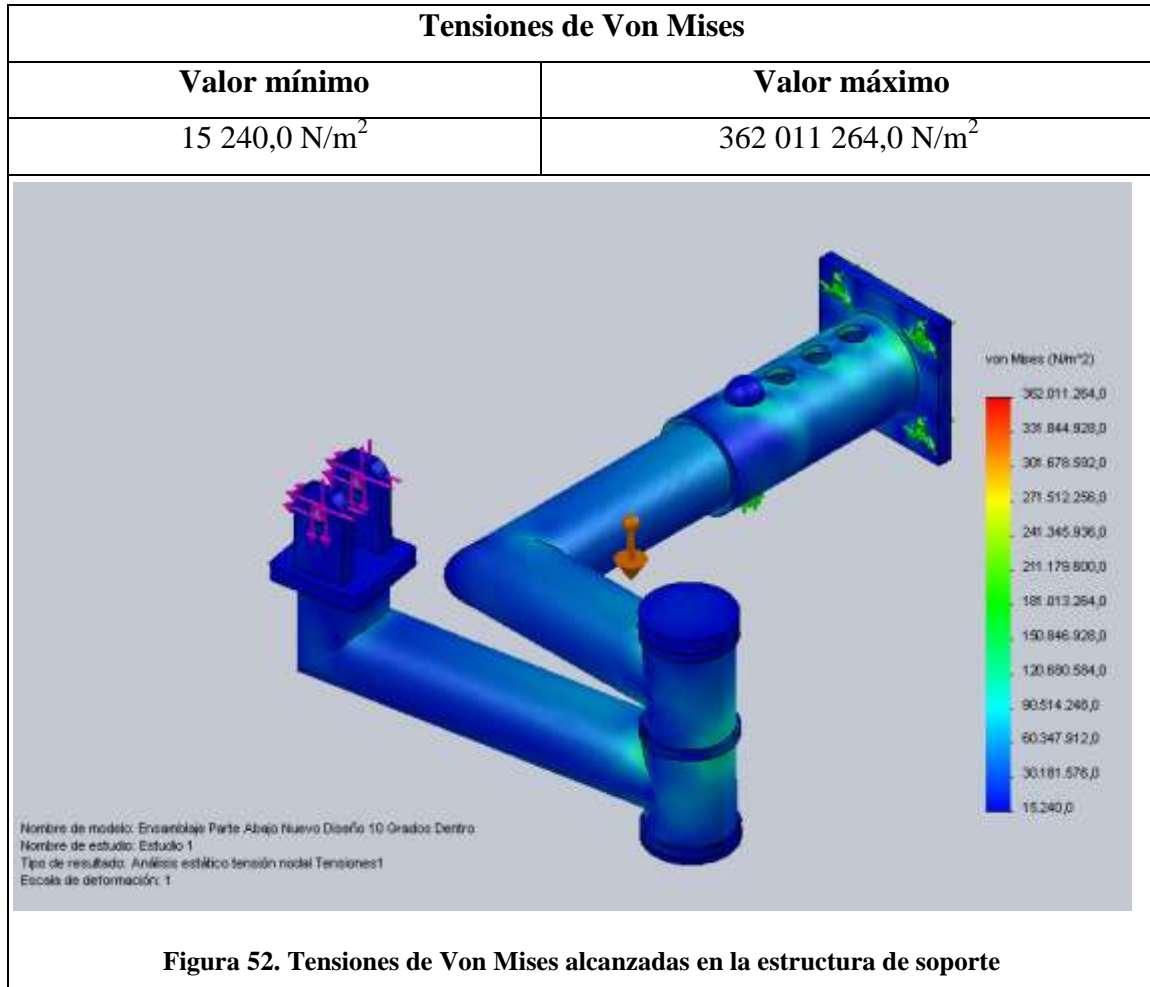
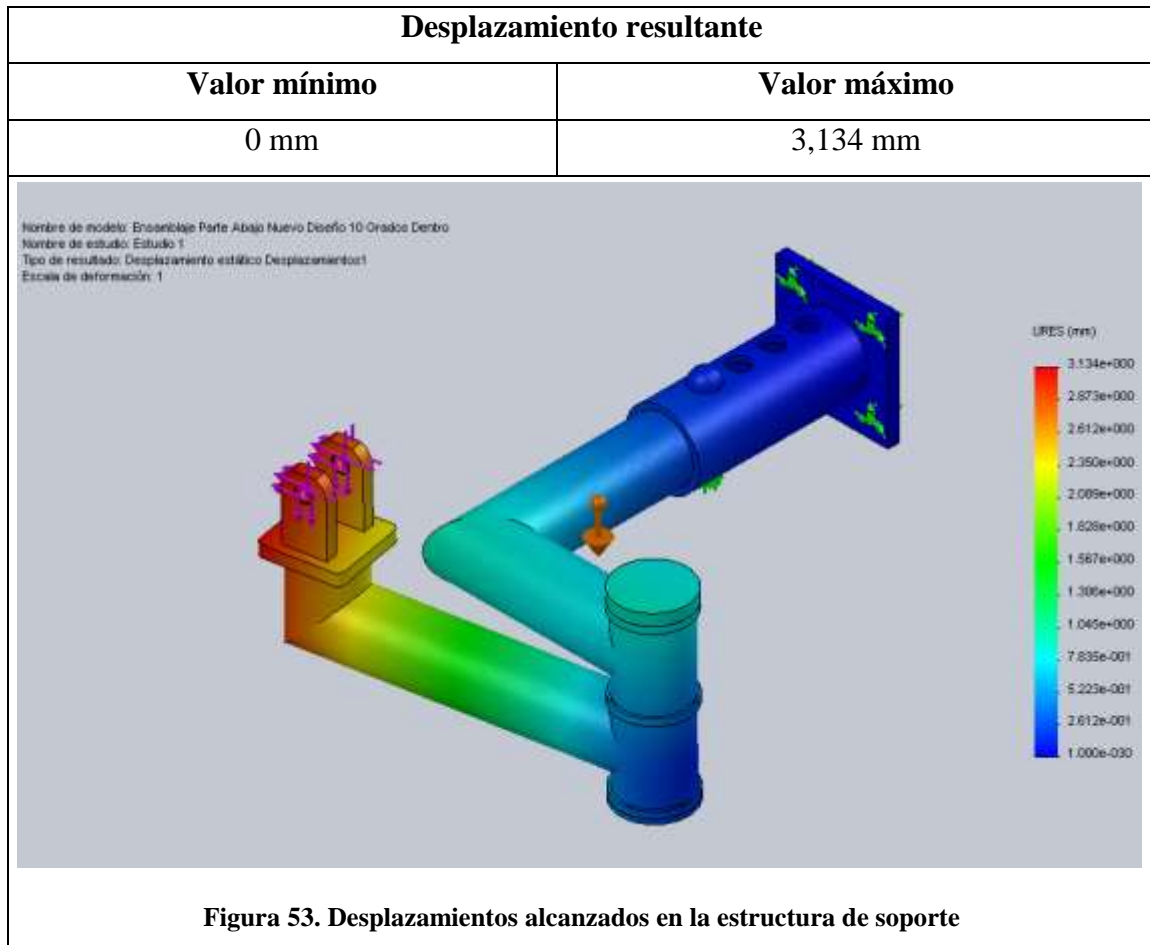


Figura 52. Tensiones de Von Mises alcanzadas en la estructura de soporte



5.8. Análisis de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se pueden obtener los valores de tensión de Von Mises y desplazamiento resultante máximos globales. La tabla adjunta muestra estos valores.

Resultado	Valor máximo
Tensión de Von Mises	362 001 264 N/m ²
Desplazamiento resultante	3,134 mm

Tabla 29. Valores máximos del estudio de la estructura de soporte

Como se puede observar, se supera el valor del límite elástico del material, razón por la cual el mismo plastifica. Sin embargo, la zona en la que se alcanzan estos valores de tensión es muy reducida, y como consecuencia se puede considerar como plastificación localizada. Estas altas tensiones, al igual que para el apartado 4, se dan como consecuencia del contacto entre componentes. La imagen adjunta muestra la zona de la estructura para la cual se superan los 300 MPa, por medio de la herramienta iso-superficies proporcionada por el programa.

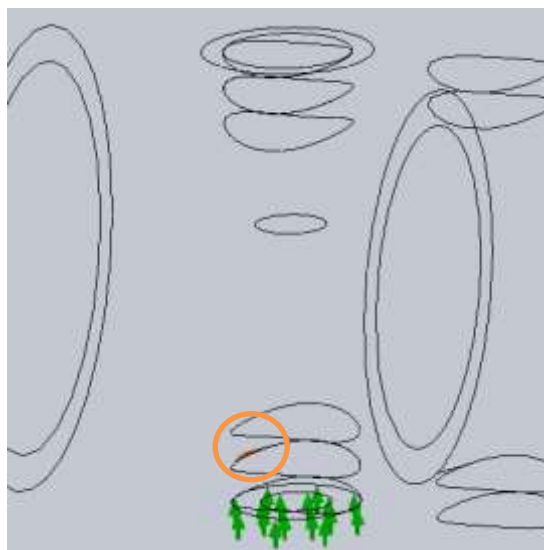


Figura 54. Concentración de tensiones estructura soporte

En lo que respecta a las tensiones obtenidas en los bujes, estas se dan en aquel que constituye el sistema de bisagra, como consecuencia de las tensiones de contacto. Se muestran los valores de tensión a partir de la herramienta iso-superficies.

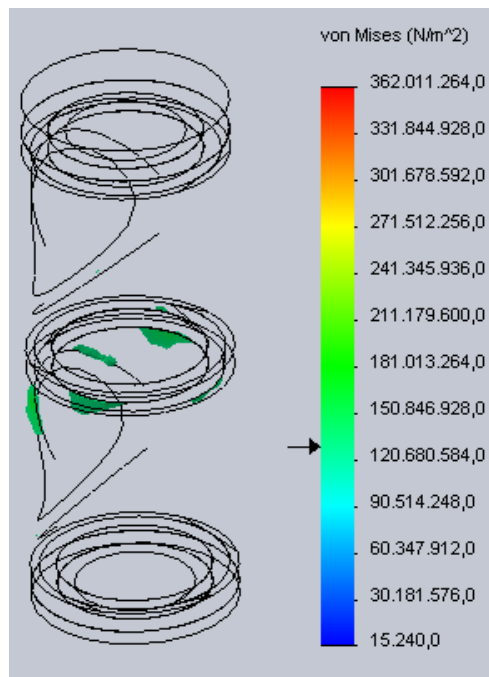


Figura 55. Concentración de tensiones buje estructura soporte

El factor de seguridad con respecto al material del estudio será:

$$\text{factor de seguridad} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{221 \text{ MPa}}{170 \text{ MPa}} = 1,3$$

En lo que respecta a los valores de desplazamiento resultante, estos son lo suficientemente pequeños como para considerarlos admisibles.

5.8.1. Análisis de soldaduras

Teniendo en cuenta lo mencionado en el apartado 4.8.1, se muestran los valores de tensión en las soldaduras.

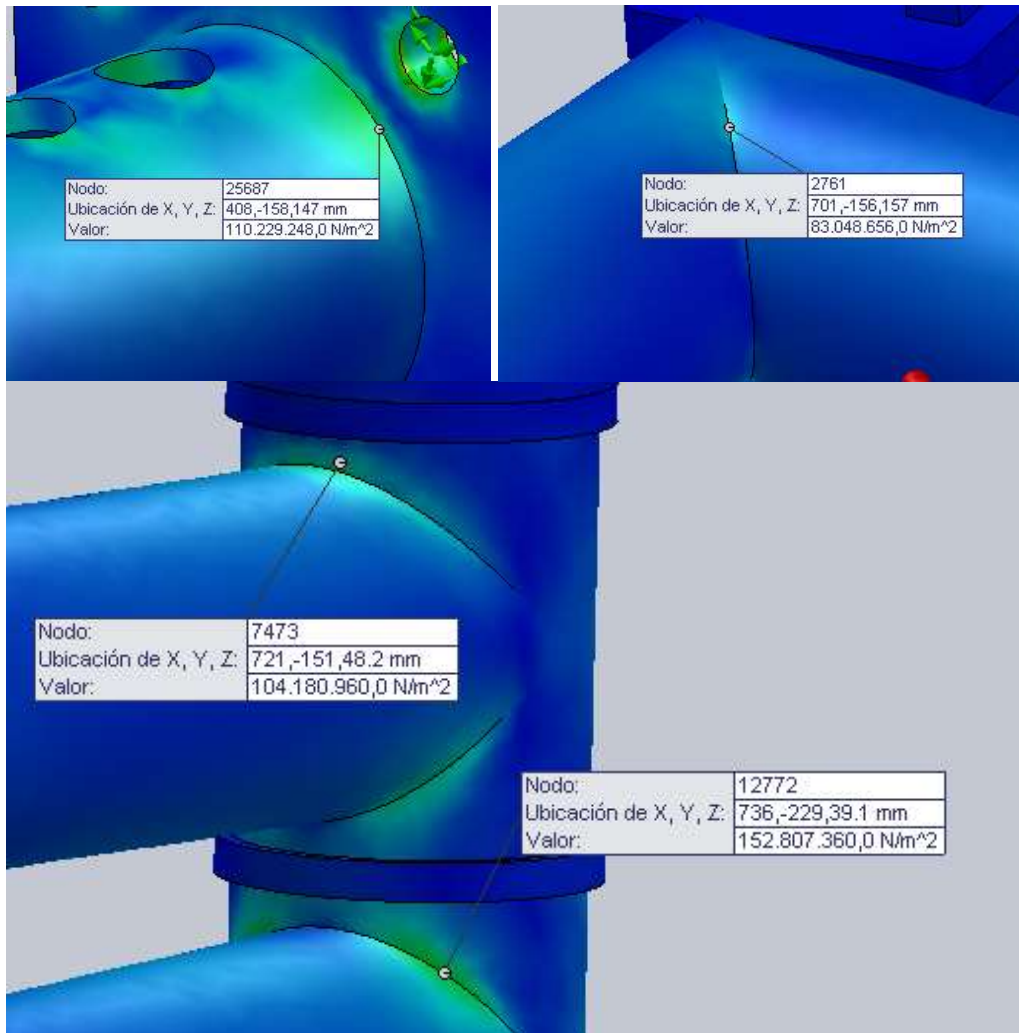


Tabla 30. Valores de tensión en las soldaduras de la estructura de soporte.

Zona	Tensión máxima	Tensión límite soldadura
Unión placa y perfil tubular	110 229 248 N/m ²	280 000 000 N/m ²
Unión entre los perfiles tubulares retráctiles	83 048 656 N/m ²	280 000 000 N/m ²
Soldadura superior bisagra	104 180 960 N/m ²	280 000 000 N/m ²
Soldadura inferior bisagra	152 807 360 N/m ²	280 000 000 N/m ²

Tabla 31. Tensiones límites de las uniones soldadas

Por ellos, se concluye que las tensiones acaecidas en la soldadura analizada, se encuentran lo suficientemente alejadas del límite elástico. En concreto, el factor de seguridad será:

$$\mathbf{factor\ de\ seguridad} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{280\ MPa}{152,807\ MPa} = \mathbf{1,832}$$

6. Análisis del perfil de la columna

6.1. Objeto

El presente documento pretende justificar los cálculos asociados a los esfuerzos ejercidos sobre el perfil de la columna vertebral de la espalda del exoesqueleto donde se sostiene el mismo. Una vez se hayan calculados los esfuerzos aplicados, se justificarán las dimensiones adoptadas en el diseño empleando para ello el software de elementos finitos SolidWorks™.

6.2. Consideraciones

Para el estudio de tensiones del componente del exoesqueleto en cuestión, se ha realizado un análisis de tensiones de Von Mises y de desplazamientos para dos casos de carga posibles.

- *Caso 1:* se analizará la situación de trabajo usual del exoesqueleto en la que los dos brazos del mismo están cargados con la máxima carga permitida en su posición más desfavorable para el diseño, siendo esta la que provoca unas mayores reacciones en los hombros y soportes del actuador.
- *Caso 2:* se analizará una posible situación de trabajo en la que únicamente un brazo del exoesqueleto se encuentre cargado con la máxima carga permitida.

Los materiales a emplear en la estructura real serán los aceros S235JR y S275JR.

Material	Acero S235JR	Acero S275JR
Límite Elástico	2,35e+008 N/m ²	2,75e+008 N/m ²

Tabla 32. Límite elástico materiales de la columna

Se tomará el sistema de referencia mostrado en la siguiente ilustración para la totalidad del presente anexo.

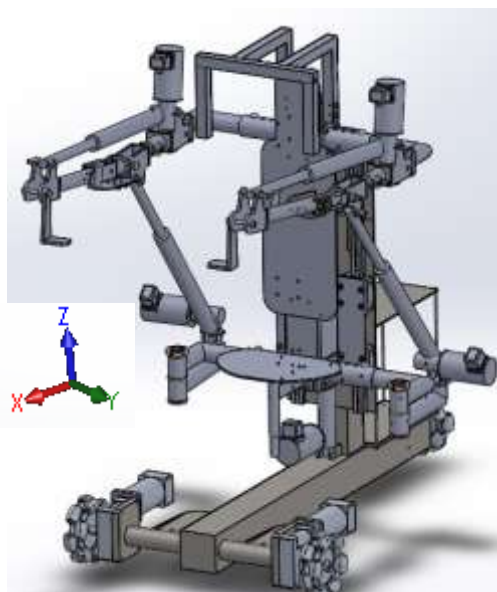



Figura 56. Sistema de referencia de la columna

6.3. Materiales de cada elemento

Al tratarse de una pieza conformada por la unión de dos productos comerciales de diferentes características, en este caso un perfil cuadrado normalizado y una chapa normalizada, los materiales que componen cada uno de estos componentes se recogen en la siguiente tabla.

Elemento	Nombre	Material
	Perfil cuadrado hueco que conforma la columna de la espalda	Acero S275JR

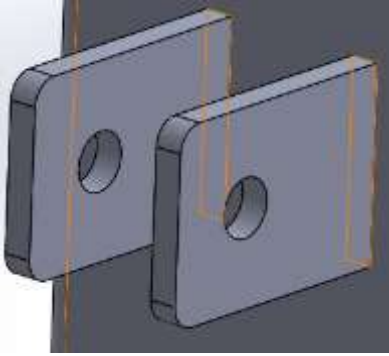
	<p>Placas metálicas que forma las orejas de sujeción del actuador que dota de movimiento al conjunto espalda-brazos</p>	<p>Acero S235JR</p>
---	---	---------------------

Tabla 33. Materiales de los componentes de la columna

6.4. Restricciones

6.4.1. Sujeciones en la estructura

Las restricciones de movimiento impuestas al diseño durante la simulación se resumen en la siguiente tabla.

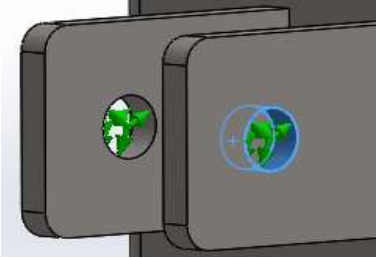
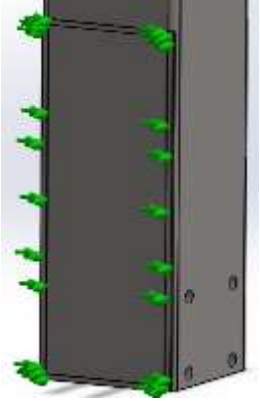
Tipo de sujeción	Imagen de la sujeción	Detalles de sujeción
<p>Sujeción sobre caras cilíndricas</p>		<p>Traslación radial: 0 mm</p>
<p>Sujeción sobre geometría de referencia</p>		<p>Traslación en el eje X: 0 mm Traslación en el eje Y: 0 mm</p>

Tabla 34. Sujeciones impuestas en la columna

Con el objeto de imponer unas restricciones al diseño lo más ajustadas a la realidad posible, se ha extruido una pequeña área perimetral existente entre la columna y la placa de sujeción de los soportes móviles de la espalda. Con ello se ha pretendido simular un cordón de soldadura existente en la unión de ambas piezas.

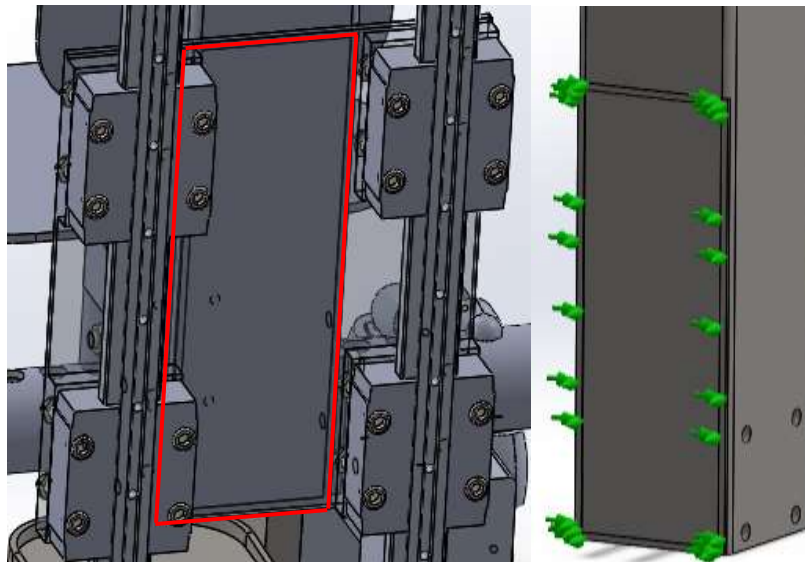


Figura 57. Simulación de soldadura en el estudio de la columna

6.5. Esquemas de cargas

Puesto que la columna del exoesqueleto será un componente fijo del mismo al que se acoplan otros móviles, se realizará un estudio de los casos de carga en los que se alcancen las sollicitaciones más desfavorables para la columna en cuestión.

Para el esquema de cargas, se han empleado las reacciones producidas en el hombro del exoesqueleto en los casos más desfavorables, tal y como se ha comentado, y las producidas en el soporte del actuador situado en la zona inferior de la columna. Además se contempla la sollicitación del peso del operario del exoesqueleto en el asiento del mismo.

Según el anexo Cálculo de la fuerza ejercida por el actuador del hombro para sostener una carga., las reacciones en el hombro y el soporte del propio actuador son máximas para el caso en el que el brazo se encuentra completamente estirado, a 40° sobre la horizontal, en el que las fuerzas obtenidas se recogen en la siguiente tabla.

Hombro del exoesqueleto	Fuerza
Fz Hombro	1637,54 N
Fx Hombro	1369,55 N
Soporte del actuador	
Fz Soporte	-2324,24 N
Fx Soporte	-1369,55 N
Asiento del operario	
Fz Asiento	-1177,2 N

Tabla 35. Fuerzas sobre la columna del exoesqueleto

Todas las justificaciones a los valores y existencia de estas fuerzas se exponen en los anexos correspondientes.

A continuación se muestran las fuerzas contenidas en la tabla anterior aplicadas sobre la estructura resistente de las mismas.

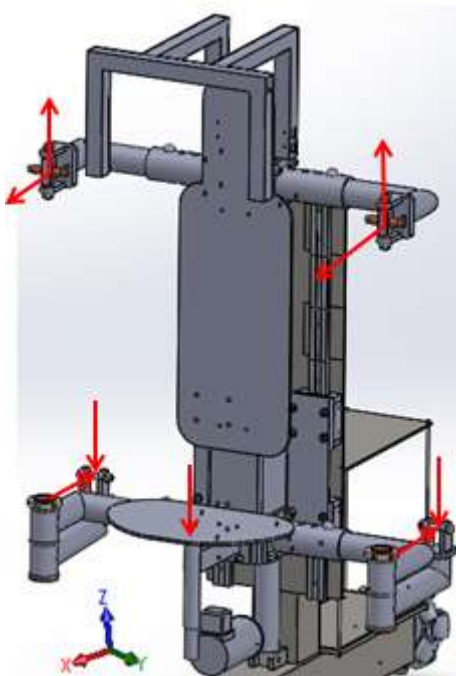


Figura 58. Esquema de cargas y reacciones

De cara al análisis de tensiones mediante software, la configuración de cargas mostradas anteriormente se traduce en una serie de solicitaciones aplicadas sobre el perfil de la columna mediante la operación de simulación de cargas remotas. Con esta opción, se puede ahorrar la simulación del conjunto de la estructura y contribuir así a agilizarla. De esta manera se muestran los dos casos de carga analizados.

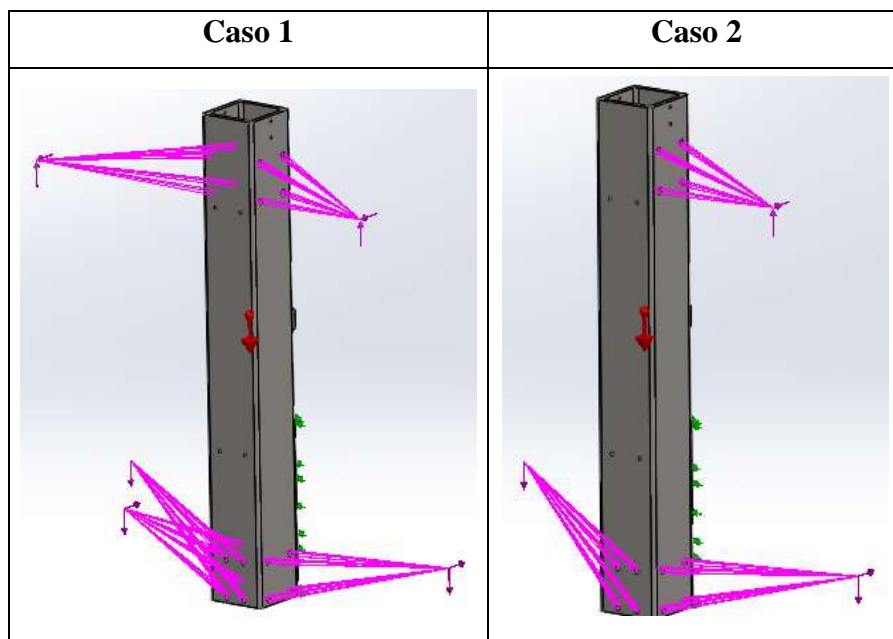


Tabla 36. Casos de carga para la columna

En el presente anexo se mostrarán los resultados obtenidos tras la simulación en el caso más desfavorable de los descritos anteriormente, siendo el mismo el caso 2.

6.6. Mallado

Para llevar a cabo el mallado de la estructura, se ha realizado un mallado fino con malla adaptada a la curvatura del elemento mallado con el objetivo de hacer más preciso el cálculo. La imagen adjunta muestra la malla tomada, así como las zonas donde se ha aplicado un control de mallado.

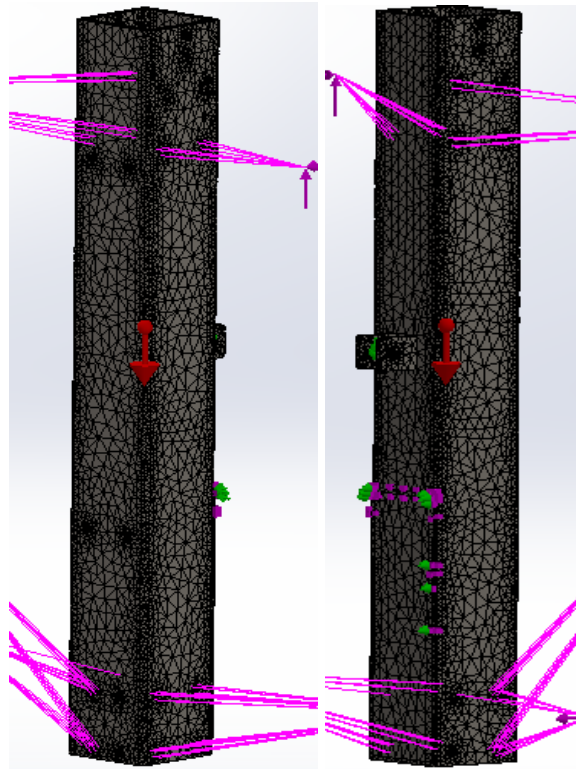
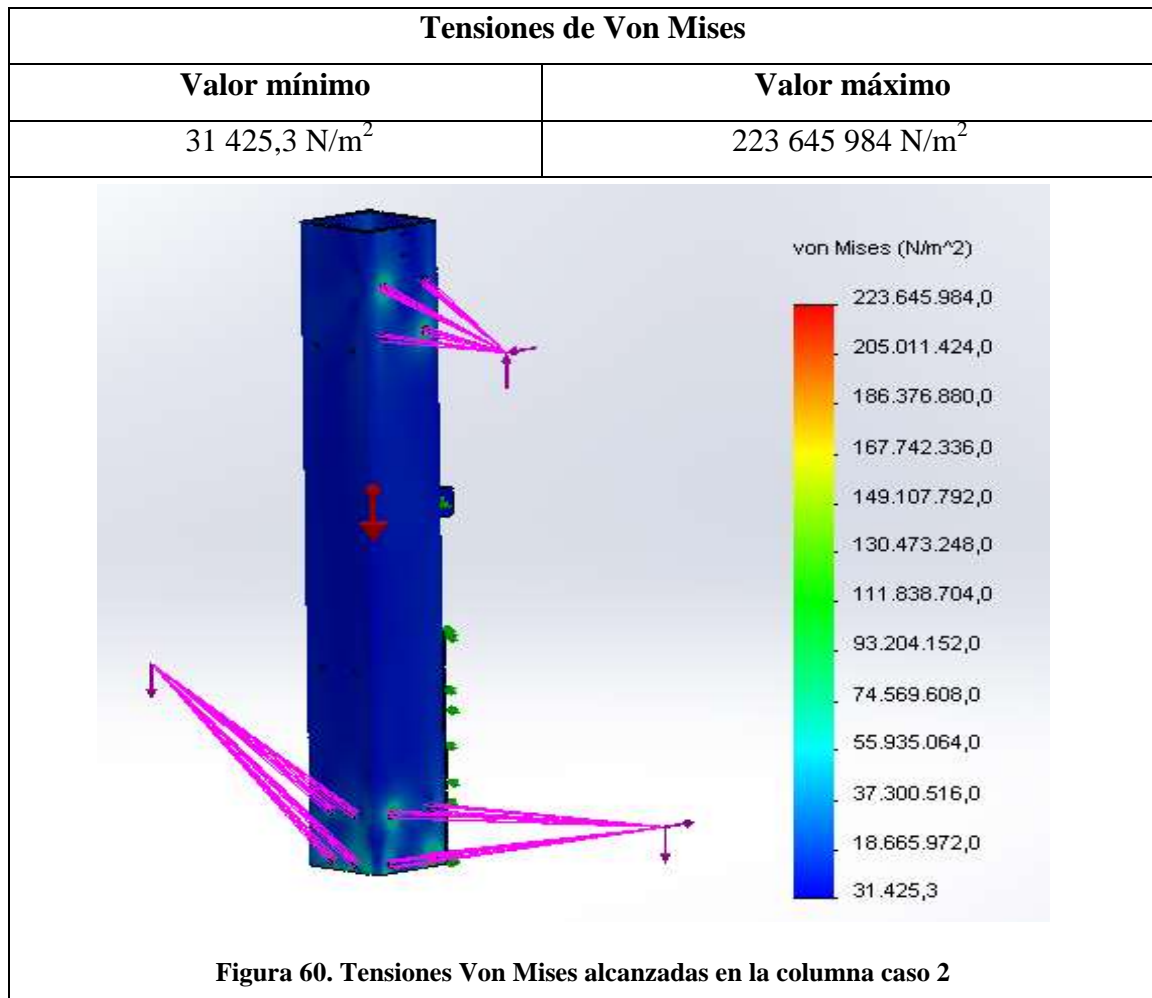
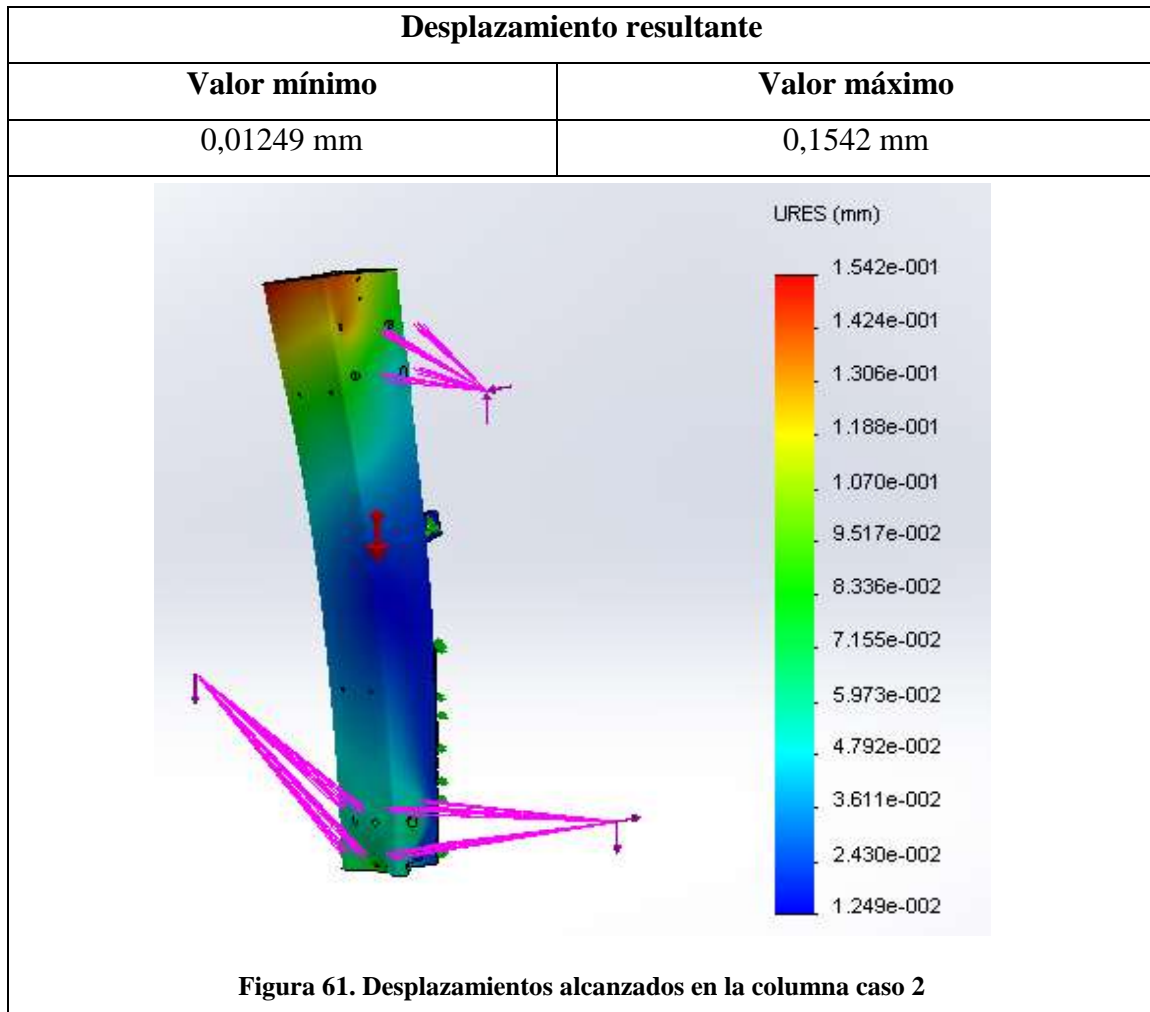


Figura 59. Malla establecida en la columna

6.7. Resultados

Se muestran los resultados obtenidos de tensiones de Von Mises y desplazamientos.





6.8. Análisis de resultados

Las tensiones alcanzadas son inferiores al límite elástico admisible por lo que se considera que el perfil se comportará elásticamente frente las sollicitaciones descritas. Estas tensiones máximas se encuentran en los agujeros correspondientes a los tornillos que sujetarán la estructura de soporte, tal y como muestra la imagen adjunta obtenida mediante la herramienta de SolidWorks iso-superficies.

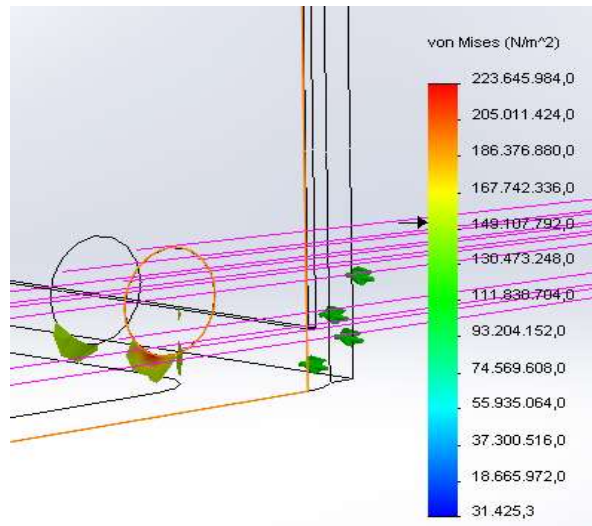


Figura 62. Concentraciones de tensiones en la columna

En este caso, el factor de seguridad con respecto al material real (dado que tiene menor límite elástico que el empleado en el estudio) será:

$$\text{factor de seguridad} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{275 \text{ MPa}}{223,6 \text{ MPa}} = 1,23$$

En cuanto a los desplazamientos registrados en la estructura, se considera que la columna prácticamente no sufrirá desplazamiento resultante ya que su máximo valor no llega al mm de magnitud, siendo de este modo imperceptible para el ojo humano.

6.9. Análisis de soldadura

Con el objetivo de asegurar la resistencia y aptitud de la soldadura existente en la pieza analizada en el presente anexo, se realiza una comprobación de tensiones en la zona destinada a este fin.

Se analizarán las dos zonas de la pieza en cuestión que irán destinadas a unión de soldadura.

- Zona 1: zona de unión entre la oreja de sujeción del actuador y el perfil de la columna

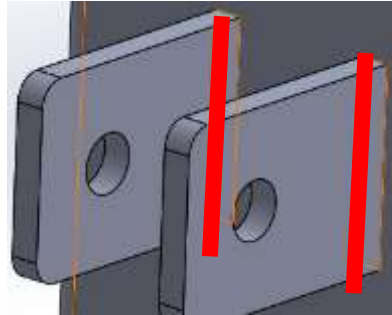


Figura 63. Localización de la soldadura en las orejas de sujeción del actuador

- Zona 2: zona perimetral de unión entre el perfil de la columna y la chapa metálica de unión con los soportes móviles de la espalda.

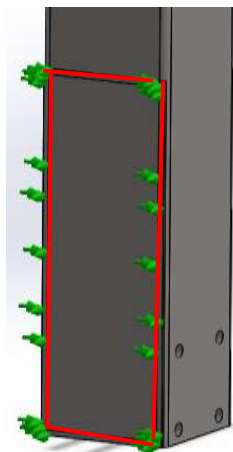


Figura 64. Localización de soldadura de la placa de sujeción de las guías con la columna

Se realiza una localización de las tensiones más elevadas en estas zonas del caso de carga más desfavorable y se le aplica un coeficiente reductor de 0,8 a la resistencia de la soldadura. Con ambas tensiones, se comprobará que la tensión alcanzada sea inferior a la tensión admisible por la soldadura.

Se tomará como propiedades del material de aporte las mismas a las del metal base ya que al tratarse de aceros al carbono, la soldadura es de alta calidad. La tensión admisible de la soldadura será el producto entre un factor de 0,8 y la menor tensión del límite elástico de los metales a unir. En este caso, la tensión equivalente al límite de la región elástica, será de 235 MPa. Los datos se recogen en la siguiente tabla.

Zona	Tensión máxima	Tensión límite soldadura
Zona 1	43 083 004 N/m ²	188 000 000 N/m ²
Zona 2	115 430 368 N/m ²	188 000 000 N/m ²

Tabla 37. Tensión límite de la soldadura en la columna

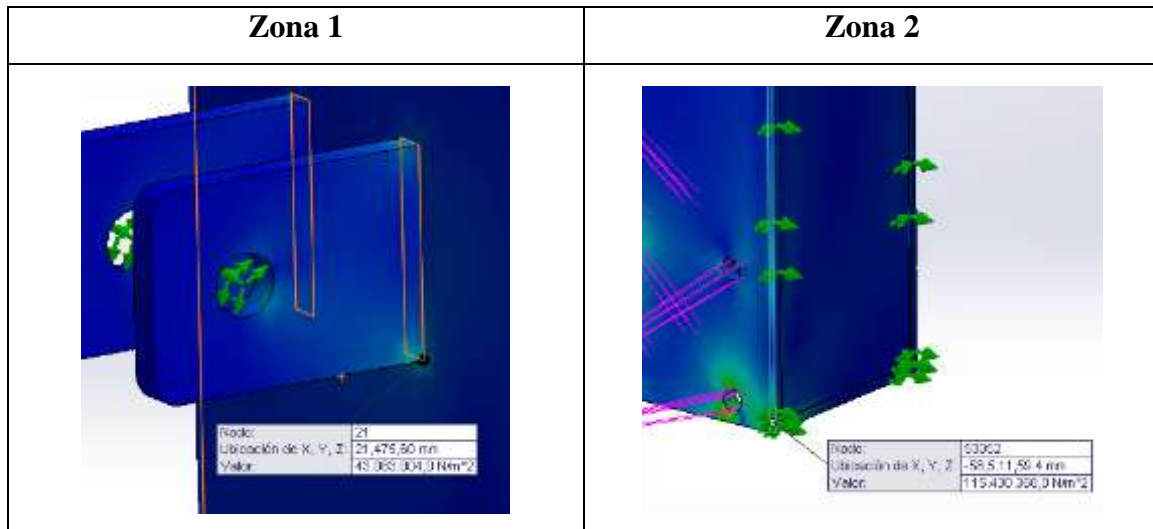


Tabla 38. Localización de las tensiones en las uniones soldadas

Se comprueba como las soldaduras existentes en la columna de la espalda soportan perfectamente la configuración de esfuerzos impuesta. El factor de seguridad será:

$$\text{factor de seguridad} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{188 \text{ MPa}}{115,43 \text{ MPa}} = 1,63$$

7. Análisis de la placa de sujeción de los soportes móviles

7.1. Objeto

El presente documento pretende justificar los cálculos asociados a los esfuerzos ejercidos sobre la placa de sujeción de los soportes móviles de la espalda con la columna de la misma. Una vez se hayan calculados los esfuerzos aplicados, se justificarán las dimensiones adoptadas en el diseño empleando para ello el software de elementos finitos SolidWorks™.

7.2. Consideraciones

Para el estudio de tensiones del componente del exoesqueleto en cuestión, se ha realizado un análisis de tensiones de Von Mises y de desplazamientos para dos casos de carga posibles. Al ser estos dos casos los mismos correspondientes a los comentados en el anexo de cálculo de la columna de la espalda, se elude la explicación de los mismos en el presente anexo y se dispone a mostrar los resultados obtenidos en la simulación del caso más desfavorable.

El material a emplear en la estructura de la placa será el acero S235JR.

Material	Acero S235JR
Límite Elástico	2,35e+008 N/m ²

Tabla 39. Límite elástico material de la placa

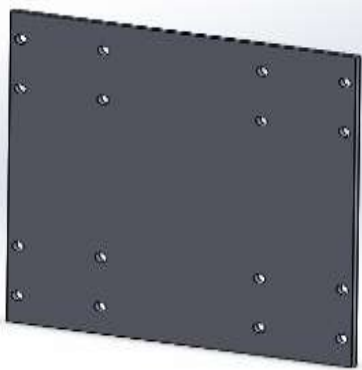
Tal y como se ha especificado en anexos similares, el sistema de referencia empleado será el que se muestra en la siguiente imagen.



Figura 65. Sistema de referencia del presente anexo

7.3. Materiales de cada elemento

Al tratarse de una pieza que va a ser analizada en conjunto con otra pieza que ha sido estudiada anteriormente, se especifica el material de la pieza en cuestión.

Elemento	Nombre	Material
	<p>Placa metálica de sujeción para los soportes móviles</p>	<p>Acero S235JR</p>

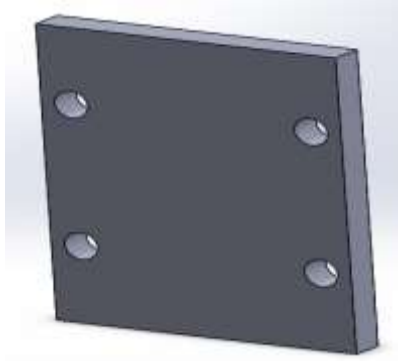
	<p>Separadores</p>	<p>Acero S235JR</p>
---	--------------------	---------------------

Tabla 40. Materiales de los diferentes componentes

7.4. Restricciones

7.4.1. Sujeciones en la estructura

Las restricciones de movimiento impuestas al diseño durante la simulación se resumen en la siguiente tabla

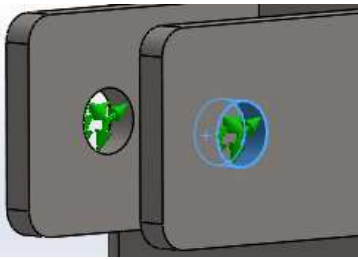
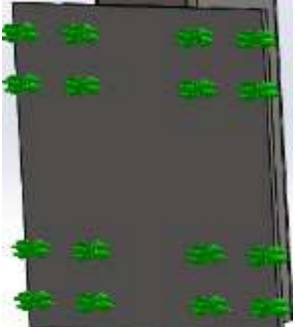
Tipo de sujeción	Imagen de la sujeción	Detalles de sujeción
<p>Sujeción sobre caras cilíndricas</p>		<p>Traslación radial: 0 mm</p>
<p>Sujeción con geometría de referencia</p>		<p>Traslación en el eje X: 0 mm Traslación en el eje Y: 0 mm</p>

Tabla 41. Sujeciones impuestas para el estudio de la placa

Los separadores se han eliminado del estudio ya que al cumplir únicamente una función geométrica y carecer de ningún tipo de unión física resistente entre la placa de sujeción y los soportes móviles más allá de los agujeros pasantes por lo que se introducen los tornillos de fijación de los soportes, no son relevantes para el estudio.

7.5. Esquemas de cargas

Puesto que la placa de sujeción está soldada a la columna del exoesqueleto, se realizarán los mismos esquemas de carga ejecutados en el anexo correspondiente a la columna de la espalda. Asimismo, a la hora del análisis de tensiones y desplazamientos, este anexo se centrará en los diferentes valores alcanzados por la placa, dejando de lado a la columna de la espalda que ocupa un plano secundario.

En la siguiente tabla adjunta se recogen los dos casos de cargas que se analizarán en el estudio.

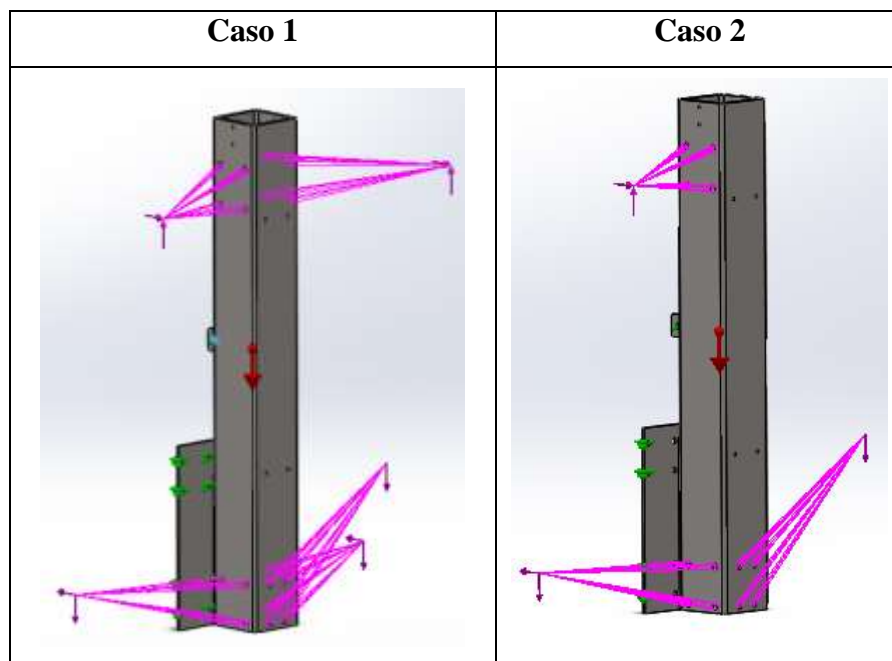


Tabla 42. Casos de carga para el estudio de la placa

7.6. Mallado

Para llevar a cabo el mallado de la estructura, se ha realizado un mallado fino con malla adaptada a la curvatura del elemento mallado con el objetivo de hacer más preciso el cálculo. La imagen adjunta muestra la malla tomada.

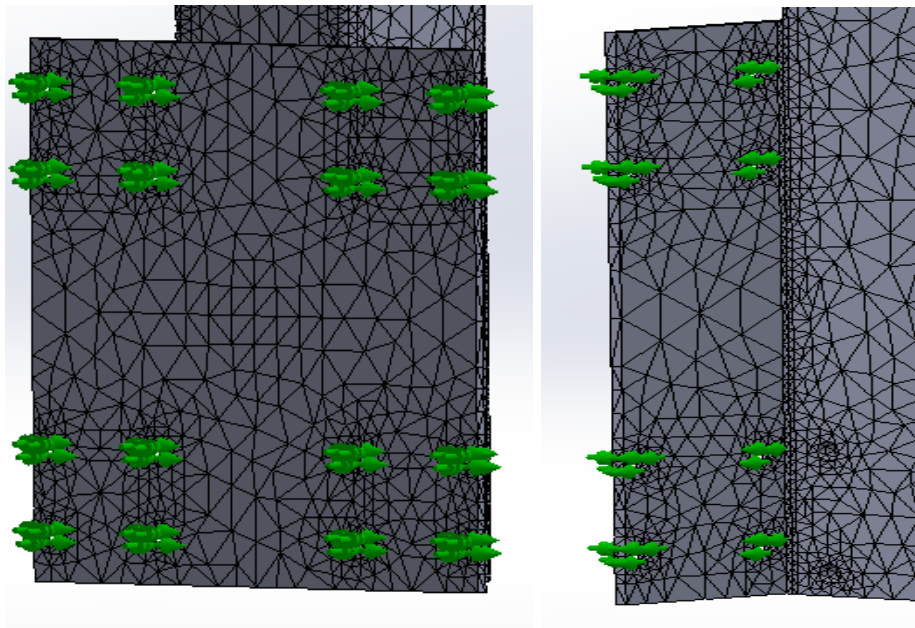
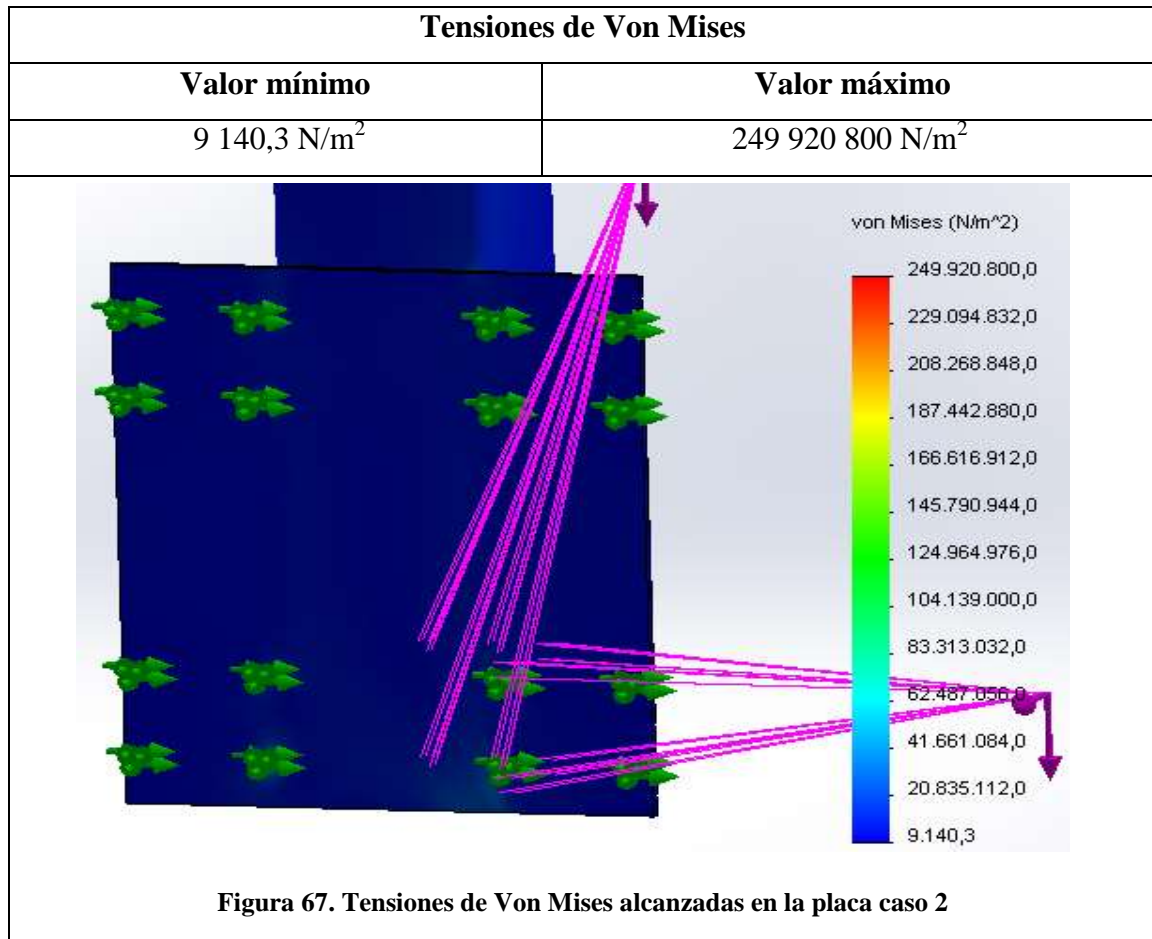
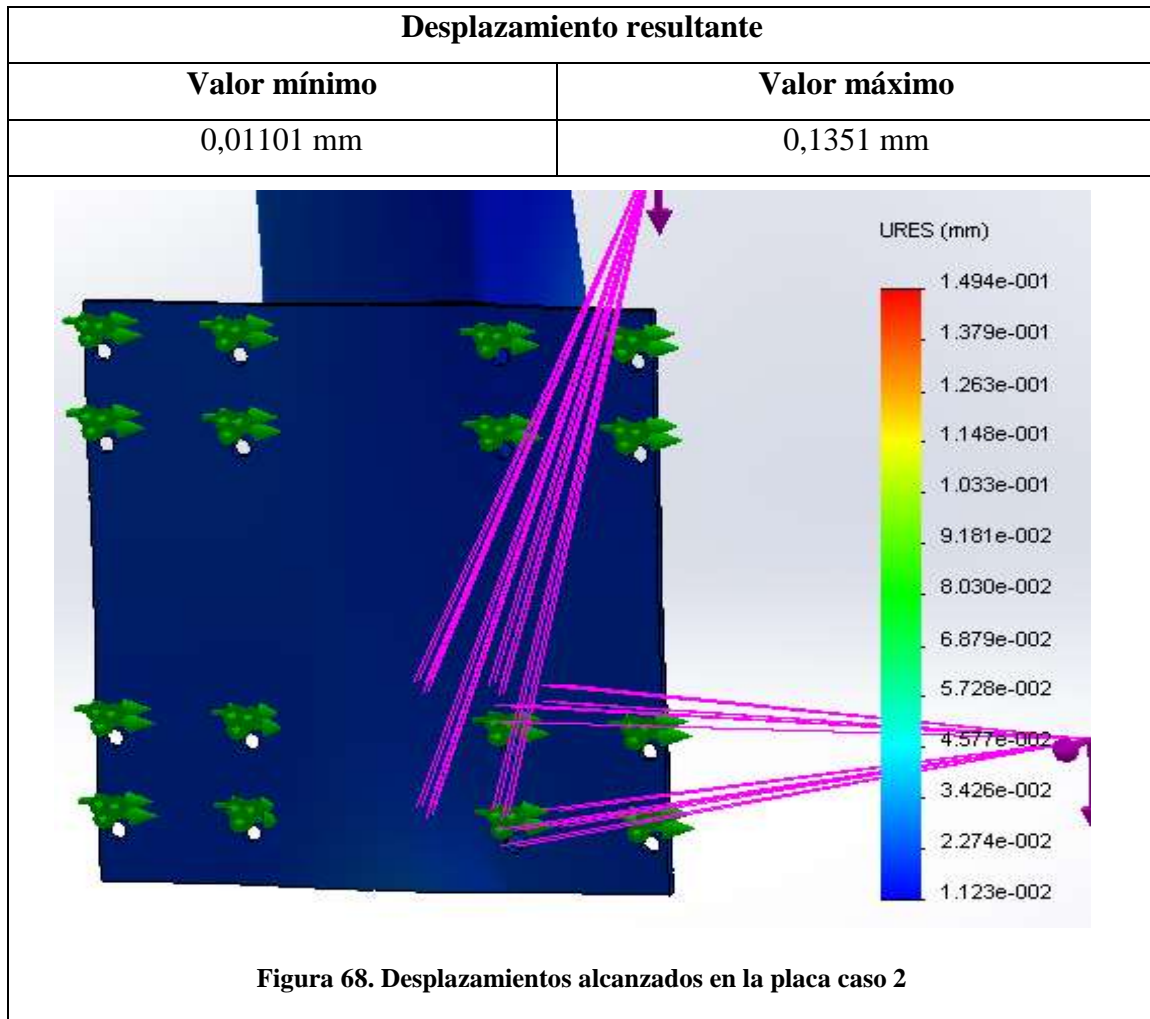


Figura 66. Malla establecida en la placa de sujeción de los soportes móviles

7.7. Resultados

Se muestran los resultados obtenidos de tensiones de Von Mises y desplazamientos.





7.8. Análisis de resultados

Se comprueba como las tensiones alcanzadas por la placa de sujeción bajo las solicitaciones descritas están muy por debajo de su límite elástico.

Las tensiones máximas mostradas en los estudios se encuentran en el perfil de la columna, quedando la placa bajo un estado de tensiones poco solicitante y asegurando así, su comportamiento elástico. En la siguiente imagen se muestran, mediante la herramienta de iso-superficies que ofrece el SolidWorks™, las tensiones más altas que soporta la placa.

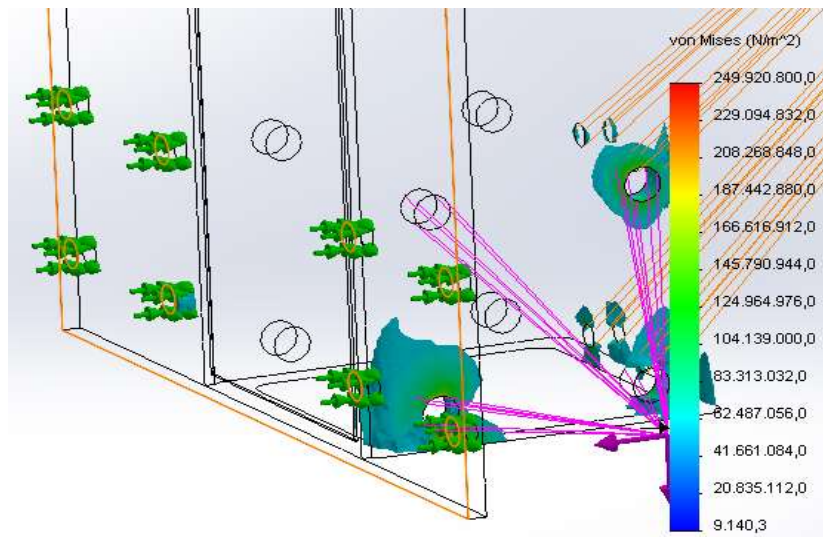


Figura 69. Tensiones localizadas en la placa

En este caso, el factor de seguridad con respecto al material real (dado que tiene menor límite elástico que el empleado en el estudio) será:

$$\text{factor de seguridad} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{\text{máx}}} = \frac{235 \text{ MPa}}{55 \text{ MPa}} = 4,27$$

Para el cálculo del factor de seguridad se ha tenido en cuenta las máximas tensiones localizadas en la placa metálica, y no en la columna.

En cuanto a los desplazamientos registrados en la estructura, se considera que la placa prácticamente no sufrirá desplazamiento resultante ya que su máximo valor no llega al mm de magnitud, siendo de este modo imperceptible para el ojo humano.

8. Análisis de la estructura del asiento

8.1. Objeto

El presente apartado pretende comprobar la viabilidad de las dimensiones tomadas para el estructura del asiento a partir de un análisis de tensiones de Von Mises y desplazamientos empleando el software de elementos finitos SolidWorks™.

8.2. Consideraciones

Para el análisis de la presente estructura, se llevará a cabo un análisis de tensiones de Von Mises y desplazamientos para dos casos:

- *Caso 1.* Asiento en la posición más baja
- *Caso 2.* Apoyo del peso del operario en el lateral del asiento

Para todos estos casos, se analizará la situación más desfavorable, la cual se da cuando el operario, con el mayor peso permisible por el exoesqueleto, apoya el peso de su cuerpo en el extremo frontal del asiento. El apoyo será de una superficie aproximada a 28 cm^2 , tal y como se especifica en el estudio antropométrico para la superficie de apoyo de una persona. Además se estudiará el caso poco probable en el que el operario se apoye en el extremo lateral del asiento, creando así un momento torsor en la unión atornillada.

Análogamente a estas condiciones conservadoras, se ha estipulado un coeficiente de mayoración del peso del operario de 1,2. Con esta medida se pretende contemplar el posible efecto dinámico producido al sentarse de manera brusca en el asiento.

Así mismo, en la estructura a simular se han suprimido tanto los tornillos que sujetarán la estructura al perfil de la columna, así como las tuercas y demás complementos supletorios.

8.3. Materiales de cada elemento

A continuación, se nombrarán todos los elementos empleados para el estudio, así como el material asignado para cada uno de ellos. Todos los estudios realizados en este apartado contendrán los mismos elementos así como los mismos materiales para estos.

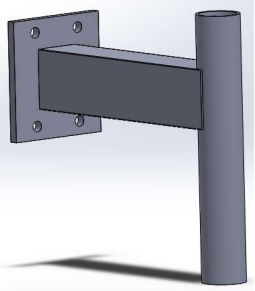


Elemento	Nombre	Material
	Perfil tubular rectangular de unión de la placa de sujeción y el perfil tubular soporte de la tija	Acero S275JR
	Tija del asiento	Acero S275JR
	Base del asiento	Acero S235JR

Tabla 43. Materiales de los componentes del asiento

8.4. Restricciones

8.4.1. Sujeciones de la estructura

Se muestra a continuación las restricciones tenidas en cuenta en la simulación, aquellas que restringirán los desplazamientos de la estructura. Se han tomado restricciones de tipo cilíndricas en los lugares donde la estructura estará sujeta, por medio de tornillos, a la estructura de la espalda. Del mismo modo, se ha colocado una restricción que evite que la tija del asiento se desplace verticalmente. Para ello se ha creado una protuberancia en el perfil tubular de la tija y se ha establecido la condición de impenetrabilidad entre esta protuberancia y el soporte de la tija.

Mencionar que todos los estudios llevados a cabo en este apartado tendrán las mismas sujeciones.


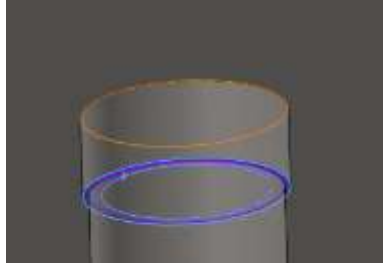
Tipo de sujeción	Imagen de la sujeción	Detalles de sujeción
<p>Sujeción sobre caras cilíndricas</p>		<p>Traslación radial: 0 mm Traslación circunferencial: 0 rad Traslación axial: 0 mm</p>
<p>Sujeción vertical mediante condición de impenetrabilidad</p>		<p>Traslación en el eje Z: 0 mm</p>

Tabla 44. Sujeciones impuestas en el asiento

8.5. Caso 1

8.5.1. Esquema de cargas

El siguiente esquema muestra el modelo con las cargas aplicadas.

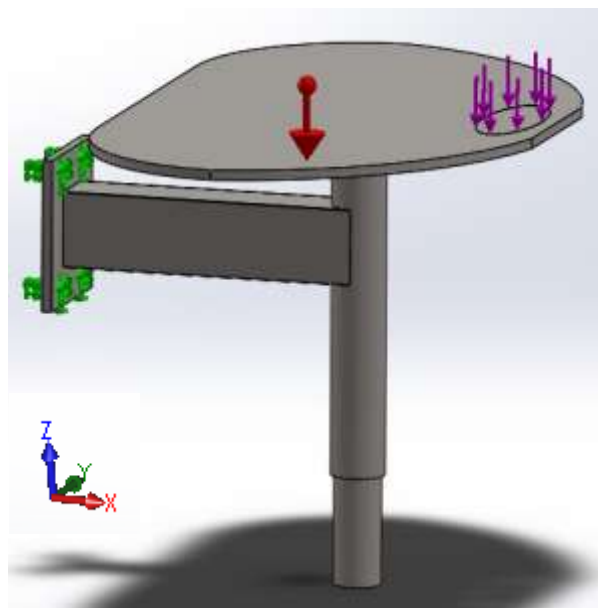


Figura 70. Esquema de carga para el asiento caso 1

En esta configuración de carga se muestra el caso en el que el asiento está en su posición inferior. La carga equivalente al peso del usuario por el coeficiente de seguridad de 1,2 , está aplicado a un área próxima al extremo frontal del mismo para simular la situación desfavorable posible en la que el operario se apoye en este punto, tal y como se ha comentado anteriormente.

Fuerza vertical en el eje Z	Gravedad
-1177,2 N	9,81 m/s ²

Tabla 45. Carga impuesta en el caso 1

8.5.2. Mallado

Para llevar a cabo el mallado de la estructura, se ha aplicado una malla adaptada a la curvatura de la pieza con el objetivo de hacer más preciso el cálculo. La imagen adjunta muestra la malla tomada.

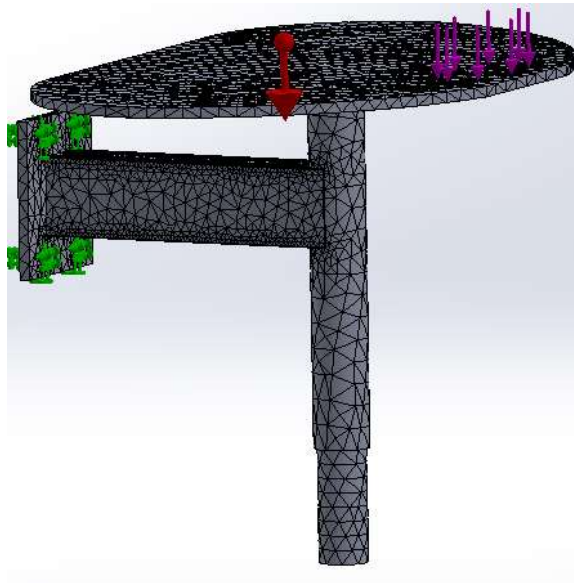
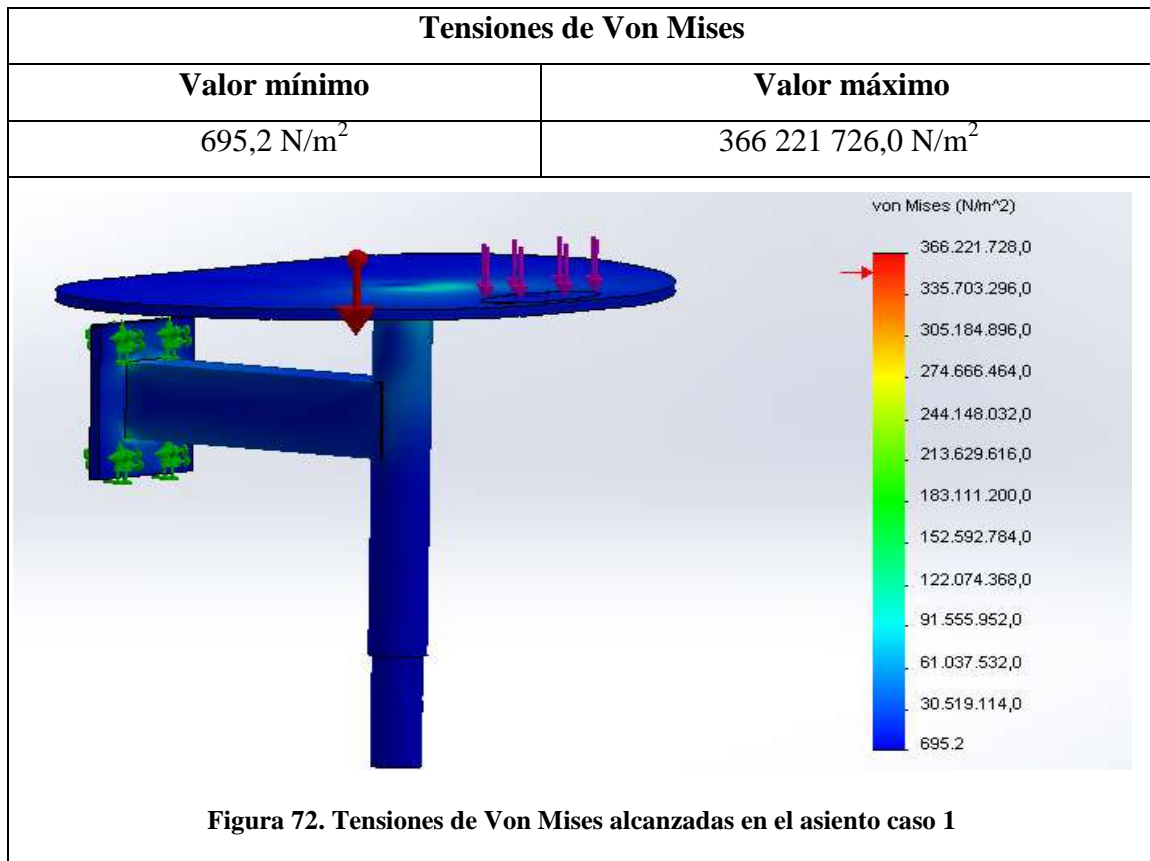


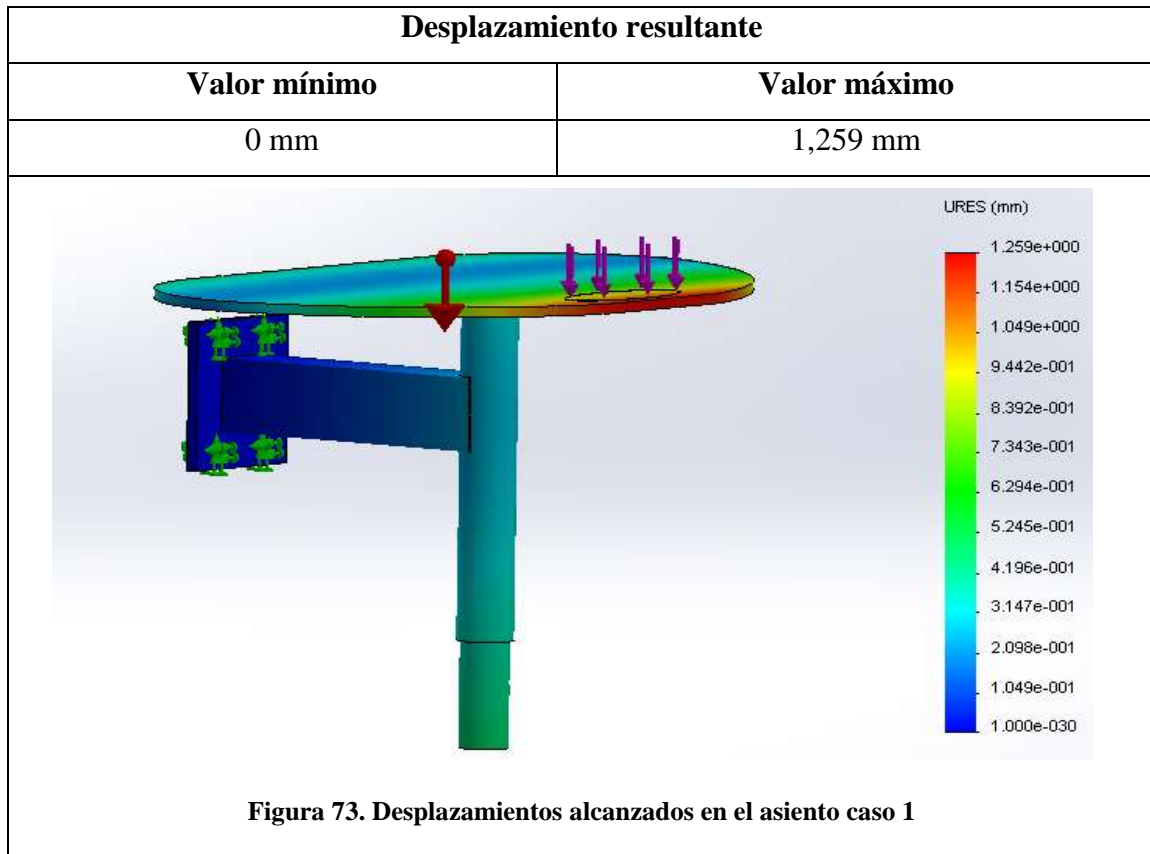
Figura 71. Malla establecida en el asiento caso 1

Se tomará la misma malla para la simulación de los diferentes estudios, por ello se eludirá a la repetición de la misma en adelante.

8.5.3. Resultados

Se muestran los resultados obtenidos de tensiones de Von Mises y desplazamientos.





8.6. Caso 2

8.6.1. Esquema de cargas

Se muestra un esquema con las cargas aplicadas sobre la estructura.

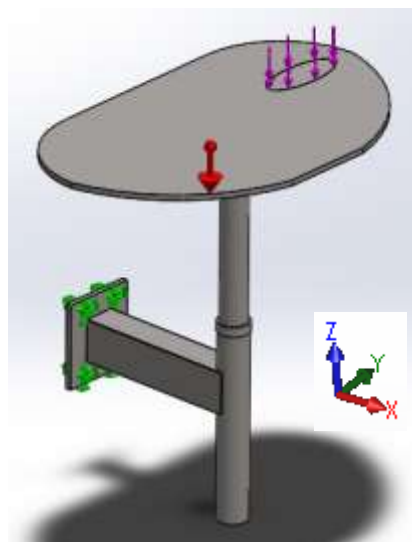
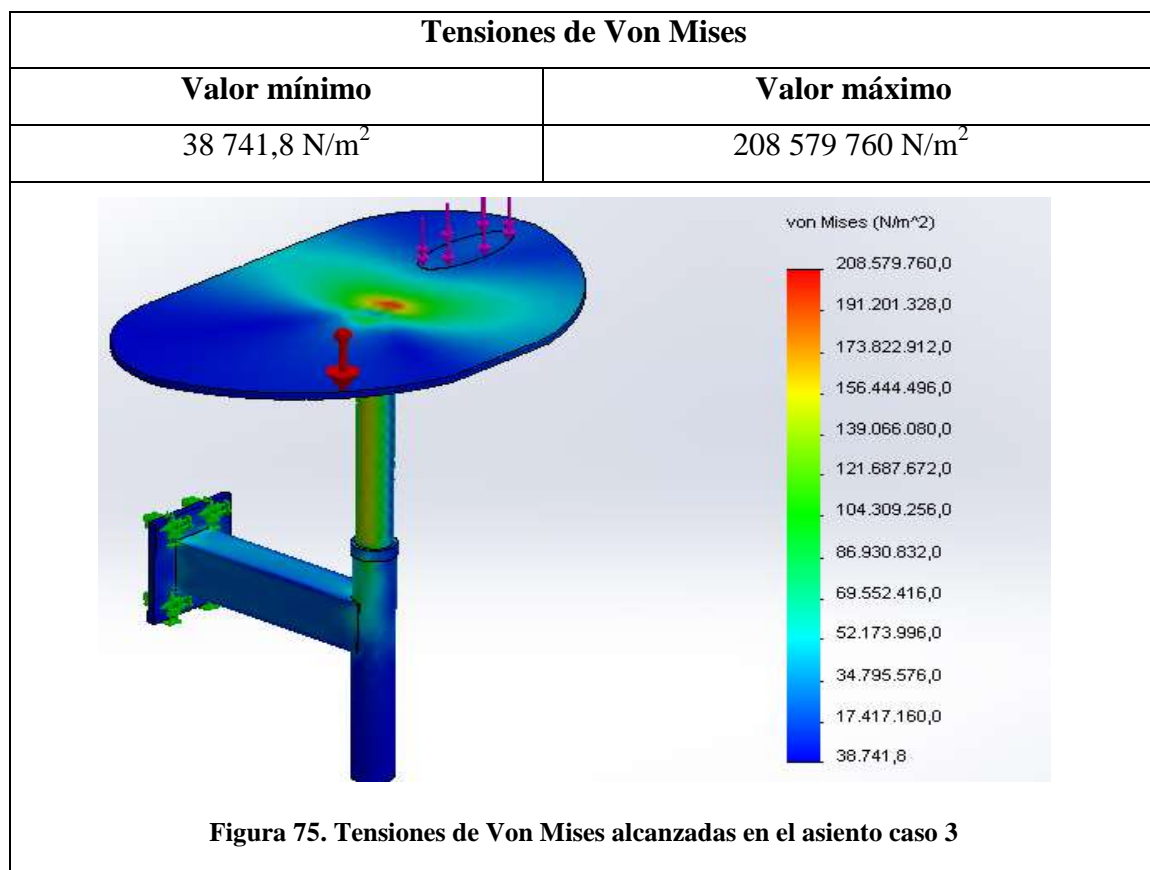


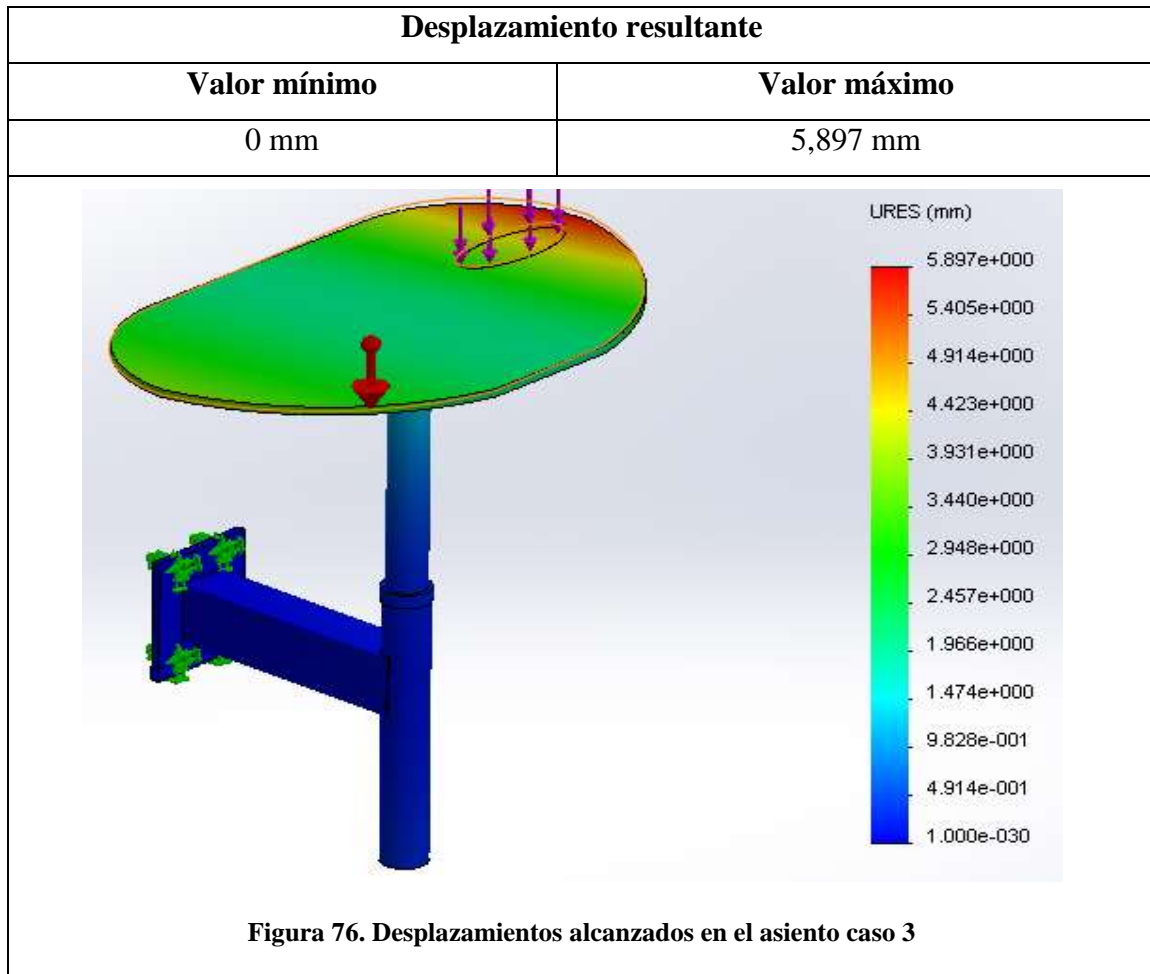
Figura 74. Esquema de carga para el asiento caso 3

En este caso, siendo la misma sollicitación que en los casos anteriores, se establece el punto de apoyo del operario en el extremo lateral del asiento. Con esta configuración, se comprueban las tensiones alcanzadas en el diseño cuando una situación poco probable y desfavorable para el diseño ocurre. En esta situación, el operario por cualquier tipo de razón anómala en el funcionamiento y uso del exoesqueleto, podría moverse hasta este punto del asiento y apoyar todo su peso. Por ello se debe de contemplar este caso de carga. Se ha evitado repetir este estudio para el caso en el que el asiento está en la posición inferior ya que produciendo ambos casos tensiones muy similares, este caso con la posición superior del asiento es en el que se dan los mayores desplazamientos. La hipótesis de carga es idéntica al caso 1 con la variación del punto de aplicación de la carga.

8.6.2. Resultados

Se muestran los resultados obtenidos de tensiones de Von Mises y desplazamientos.





8.7. Análisis de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se pueden obtener los valores de tensión de Von Mises y desplazamiento resultante máximos globales para los dos casos extremos mencionados. La tabla adjunta muestra estos valores, así como el caso al que pertenecen.

Resultado	Valor máximo	Caso
Tensión de Von Mises	366 211 760 N/m ²	1
Desplazamiento resultante	5,897 mm	2

Tabla 46. Resultados del estudio en el asiento

Con estos datos se observa como en el caso 1 la máxima tensión de Von Mises obtenida supera el límite elástico del acero S235JR, que compone a la chapa de

sujeción, en un punto localizado en la unión entre la placa de sujeción y el perfil de unión de esta con el perfil soporte de la tija. Al tratarse de un punto localizado y aislado, se producirá la plastificación del material en esta zona hasta alcanzar el equilibrio de tensiones. Una vez se produzca la plastificación localizada, la estructura permanecerá estable y equilibrada. Por tanto no se considera ningún tipo de riesgo estructural frente a este caso de tensiones, siendo el mismo el más desfavorable posible.

La imagen adjunta muestra, a través de la herramienta iso-superficies proporcionada por el programa, la zona de plastificación localizada.

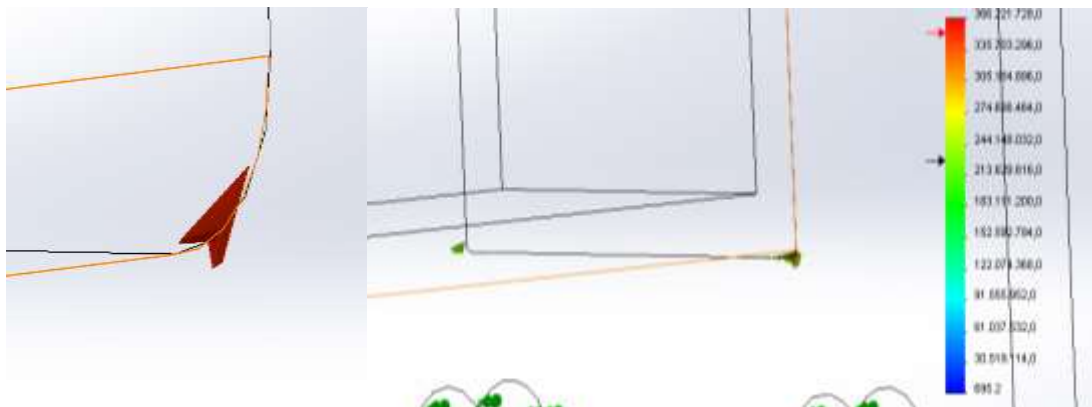


Figura 77. Concentración de tensiones localizada en el asiento

Respecto a los mayores desplazamientos obtenidos en el caso 2, se trata de un desplazamiento considerable y detectable hasta cierto punto por el usuario. No obstante, al no superarse las tensiones límites del régimen elástico no supone ningún tipo de problema al diseño. Únicamente, si se da este caso, la placa del asiento se desplazará hasta el punto estipulado y una vez se modifique la configuración de la carga, volverá a su posición inicial elásticamente.

La imagen adjunta muestra, a través de la herramienta iso-superficies proporcionada por el programa, la zona de máximas tensiones de Von Mises en el caso con mayores desplazamientos, siempre sin llegar a la región plástica.

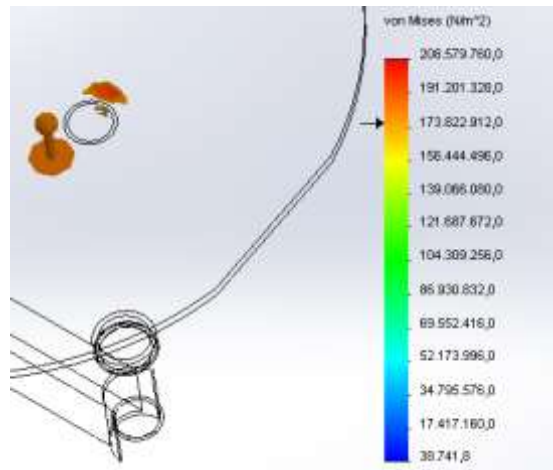


Figura 78. Máximas tensiones en la base del asiento para el caso 3

8.8. Análisis de soldadura

Con el objetivo de asegurar la resistencia y aptitud de la soldadura existente en la pieza analizada en el presente anexo, se realiza una comprobación de tensiones en la zona destinada a este fin.

Se analizarán las dos zonas de la pieza en cuestión que irán destinadas a unión de soldadura.

- Zona 1: zona de unión entre el perfil tubular soporte de la tija y el perfil tubular cuadrado que une este con la placa de sujeción.

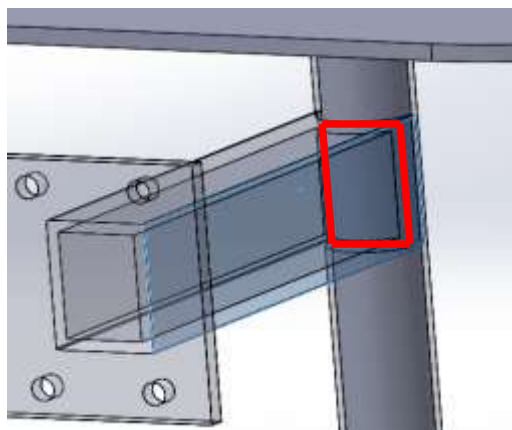


Figura 79. Localización cordón soldadura en zona 1

- Zona 2: zona de unión entre el perfil tubular cuadrado nexo entre el perfil tubular soporte de la tija y la placa de sujeción, y esta misma placa de sujeción.

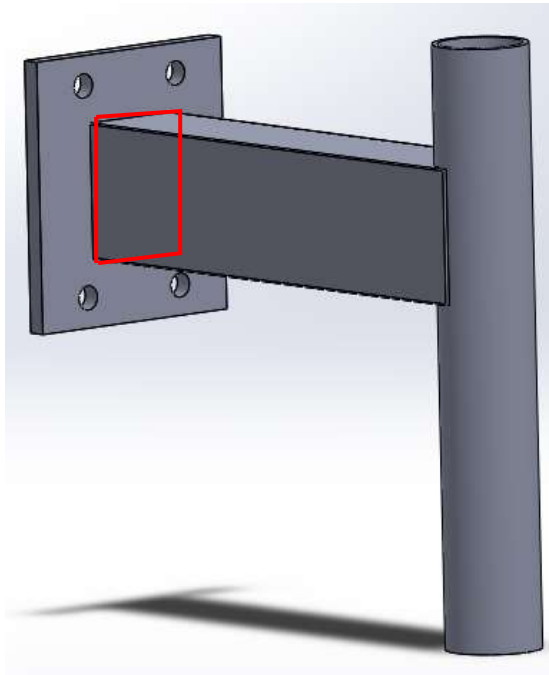


Figura 80. Localización cordón soldadura en zona 2

Se realiza una localización de las tensiones más elevadas en estas zonas del caso de carga más desfavorable para cada zona y se le aplica un coeficiente reductor de 0,8 a la resistencia de la soldadura. Con ambas tensiones, se comprobará que la tensión alcanzada sea inferior a la tensión admisible por la soldadura.

Se tomará como propiedades del material de aporte las mismas a las del metal base ya que al tratarse de aceros al carbono, la soldadura es de alta calidad. Además, el espesor de garganta de la soldadura será igual al espesor de las piezas a unir, lo que aporta más seguridad y resistencia a la soldadura. La tensión límite de la soldadura será el producto entre un factor de 0,8 y la menor tensión del límite elástico de los metales a unir. En este caso, la tensión equivalente al límite de la región elástica, será de 235 MPa para la zona 2 y de 275 MPa para la zona 1. Los datos se recogen en la siguiente tabla.

Zona	Tensión máxima	Tensión límite soldadura
Zona 1	131 664 432 N/m ²	220 000 000 N/m ²
Zona 2	317 535 040 N/m ²	188 000 000 N/m ²

Tabla 47. Tensiones límite de las soldaduras en el asiento

Se observa como en la zona 2 se supera la tensión límite de la soldadura, pero tal y como se explicó anteriormente, se producirá una plastificación del material de aporte en esta zona y se equilibrarán las tensiones. Por lo tanto no se toma esta superación de la tensión límite relevante.

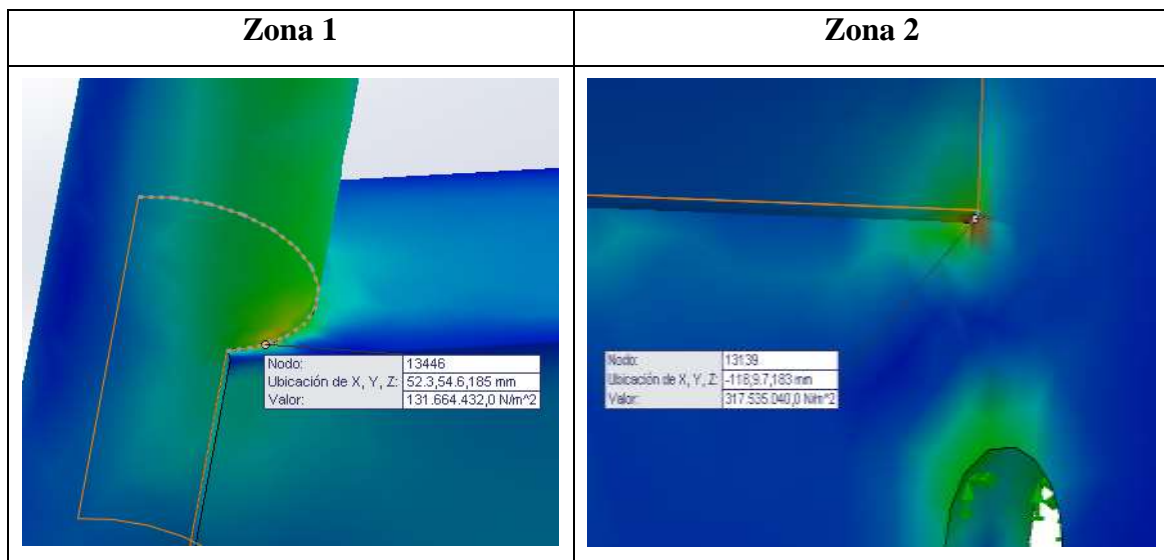


Tabla 48. Identificación de tensiones máximas en las zonas de soldadura

9. Índice de figuras

Figura 1. Identificación de elementos del brazo.....	7
Figura 2. Esquema simplificado del brazo.	8
Figura 3. Parámetros geométricos definidos por el usuario.	9
Figura 4. Esquema de fuerzas y reacciones.	10
Figura 5. Parámetros geométricos 2.	11
Figura 6. Parámetro B.....	14
Figura 7. Parámetro D.	15
Figura 8. Gráfica de la fuerza del actuador en función el ángulo del brazo.....	19
Figura 9. Esquema de carga para caso 1.....	21
Figura 10. Angulo de apertura de los brazos.....	21
Figura 11. Esquema de cargas para caso 2.....	22
Figura 12. Disposición de los soportes móviles.....	23
Figura 13. Ejes de referencias y momentos.....	24
Figura 14. Fuerzas debidas a M_x	27
Figura 15. Fuerzas debidas a M_y	28
Figura 16. Solicitaciones resistentes por los soportes móviles.....	30
Figura 17. Gráfico de la capacidad de carga de los soportes en función de la velocidad de movimiento.....	31
Figura 18. Esquema de fuerzas sobre el hombro.....	32
Figura 19. Esquema de solicitaciones de corte.....	33
Figura 20. Momento torsor formado a partir de d y F_y	34
Figura 21. Esquema de solicitaciones de corte provocadas por el momento torsor.....	35
Figura 22. Conjunto de solicitaciones de corte sobre los tornillos.....	35
Figura 23. Esquema de fuerzas sobre estructura de soporte del actuador.....	38
Figura 24. Momento torsor formado por F_x y d_2	38
Figura 25. Esquema de carga sobre el asiento.....	39
Figura 26. Esquema de carga para hombro a 0 grados respecto planta.....	43
Figura 27. Esquema de carga para hombro a 0 grados respecto alzado.....	43
Figura 28. Momento flector producido por F_x	44
Figura 29. Esquema del momento flector soportado.....	45
Figura 30. Momento flector producido por F_y	45

Figura 31. Esquema del momento flector soportado	46
Figura 32. Esquema de carga para hombro a 10 grados respecto planta.....	47
Figura 33. Esquema de carga para hombro a 10 grados respecto alzado	48
Figura 34. Momento flector producido por F_z	48
Figura 35. Esquema de carga para el cilindro del hombro	50
Figura 36. Esquema de cargas para la estructura soporte a 10 grados respecto planta ..	51
Figura 37. Esquema de cargas para la estructura soporte a 10 grados respecto alzado..	51
Figura 38. Esquema de carga para la bisagra de la estructura soporte	53
Figura 39. Esquema de carga para el asiento.....	54
Figura 40. Esquema de cargas para la estructura del hombro.	61
Figura 41. Esquema de la orientación del cilindro giratorio	61
Figura 42. Malla establecida en la estructura del hombro	62
Figura 43. Tensiones de Von Mises resultantes en la estructura del hombro	63
Figura 44. Desplazamientos resultantes en la estructura del hombro.....	64
Figura 45. Concentración de tensiones en la estructura del hombro	65
Figura 46. Tensiones Von Mises en el buje más solicitado	66
Figura 47. Tensiones localizadas en la zona de soldadura	67
Figura 48. Bujes establecidos para la simulación.....	69
Figura 49. Esquema de carga sobre la estructura de soporte.....	72
Figura 50. Esquema de la posición de la estructura de soporte.....	72
Figura 51. Malla establecida en la estructura de soporte.....	73
Figura 52. Tensiones de Von Mises alcanzadas en la estructura de soporte	74
Figura 53. Desplazamientos alcanzados en la estructura de soporte.....	75
Figura 54. Concentración de tensiones estructura soporte	76
Figura 55. Concentración de tensiones buje estructura soporte	77
Figura 56. Sistema de referencia de la columna.....	81
Figura 57. Simulación de soldadura en el estudio de la columna.....	83
Figura 58. Esquema de cargas y reacciones	84
Figura 59. Malla establecida en la columna	86
Figura 60. Tensiones Von Mises alcanzadas en la columna caso 2	87
Figura 61. Desplazamientos alcanzados en la columna caso 2	88
Figura 62. Concentraciones de tensiones en la columna.....	89
Figura 63. Localización de la soldadura en las orejas de sujeción del actuador	90

Figura 64. Localización de soldadura de la placa de sujeción de las guías con la columna	90
Figura 65. Sistema de referencia del presente anexo.....	93
Figura 66. Malla establecida en la placa de sujeción de los soportes móviles	96
Figura 67. Tensiones de Von Mises alcanzadas en la placa caso 2.....	97
Figura 68. Desplazamientos alcanzados en la placa caso 2.....	98
Figura 69. Tensiones localizadas en la placa.....	99
Figura 70. Esquema de carga para el asiento caso 1	103
Figura 71. Malla establecida en el asiento caso 1.....	104
Figura 72. Tensiones de Von Mises alcanzadas en el asiento caso 1	105
Figura 73. Desplazamientos alcanzados en el asiento caso 1	106
Figura 74. Esquema de carga para el asiento caso 3	106
Figura 75. Tensiones de Von Mises alcanzadas en el asiento caso 3.....	107
Figura 76. Desplazamientos alcanzados en el asiento caso 3.....	108
Figura 77. Concentración de tensiones localizada en el asiento.....	109
Figura 78. Máximas tensiones en la base del asiento para el caso 3	110
Figura 79. Localización cordón soldadura en zona 1	110
Figura 80. Localización cordón soldadura en zona 2	111

10. Índice de tablas

Tabla 1. Datos definidos por el usuario.....	17
Tabla 2. Resultados obtenidos para diferentes posiciones.	18
Tabla 3. Valores máximos de fuerza obtenidos.....	18
Tabla 4. Vectores de carga y posición para los casos 1 y 2.....	25
Tabla 5. Momentos de caso 1 y 2.....	26
Tabla 6. Fuerzas aplicadas en cada eje.....	29
Tabla 7. Cargas máximas permitidas por los soportes móviles.....	30
Tabla 8. Resistencia de tornillos para diferentes clases.....	37
Tabla 9. Cálculo diámetro mínimo de la espiga en los tornillos de sujeción del hombro	37
Tabla 10. Cálculo diámetro mínimo de la espiga en los tornillos de sujeción del soporte	39
Tabla 11. Cálculo diámetro mínimo de la espiga en los tornillos de sujeción del asiento	40
Tabla 12. Diámetros mínimos calculados en los diferentes componentes	40
Tabla 13. Características de las diferentes métricas	42
Tabla 14. Factor de área para roscas ISO	42
Tabla 15. Características de tornillos y tuercas estimados para hombro 10 grados	49
Tabla 16. Características de tornillos y tuercas estimados para el cilindro del hombro.	50
Tabla 17. Características de tornillos y tuercas estimados para el soporte del actuador a 10 grados	52
Tabla 18. Características de tornillos y tuercas estimados para la bisagra de la estructura soporte	53
Tabla 19. Características de tornillos y tuercas estimados para el asiento	55
Tabla 20. Roscas escogidas y sus características	55
Tabla 21. Límite elástico para los distintos materiales del estudio.	57
Tabla 22. Materiales de los componentes de la estructura del hombro.....	59
Tabla 23. Sujeciones sobre la estructura	60
Tabla 24. Fuerzas aplicadas a la estructura del hombro	62
Tabla 25. Valores máximos del estudio de la estructura del hombro.....	64
Tabla 26. Tensiones límite de las uniones soldadas	67

Tabla 27. Materiales de los componentes de la estructura soporte	71
Tabla 28. Fuerzas aplicadas a la estructura de soporte.....	73
Tabla 29. Valores máximos del estudio de la estructura de soporte.....	76
Tabla 30. Valores de tensión en las soldaduras de la estructura de soporte.	78
Tabla 31. Tensiones límites de las uniones soldadas.....	78
Tabla 32. Límite elástico materiales de la columna	80
Tabla 33. Materiales de los componentes de la columna	82
Tabla 34. Sujeciones impuestas en la columna	82
Tabla 35. Fuerzas sobre la columna del exoesqueleto.....	84
Tabla 36. Casos de carga para la columna.....	85
Tabla 37. Tensión límite de la soldadura en la columna	91
Tabla 38. Localización de las tensiones en las uniones soldadas.....	91
Tabla 39. Límite elástico material de la placa	92
Tabla 40. Materiales de los diferentes componentes	94
Tabla 41. Sujeciones impuestas para el estudio de la placa	94
Tabla 42. Casos de carga para el estudio de la placa.....	95
Tabla 43. Materiales de los componentes del asiento	101
Tabla 44. Sujeciones impuestas en el asiento.....	102
Tabla 45. Carga impuesta en el caso 1	103
Tabla 46. Resultados del estudio en el asiento	108
Tabla 47. Tensiones límite de las soldaduras en el asiento	112
Tabla 48. Identificación de tensiones máximas en las zonas de soldadura	112

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

ANEXO II: CATÁLOGOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

TÍTULO

DISEÑO DE UN EXOESQUELETO: TORSO

AUTORES

Fabián de León Mazariegos

Moisés Jiménez Rodríguez

TUTOR

Carmelo Militello Militello

Índice Anexo II: Catálogos

1. Catálogo Actuador Lineal ALIA 4 24 Vdc MECVEL
2. Catálogo Mesa Lineal IGUS Drylin T TW-01-30
3. Catálogo METALCO S.A. Perfiles Metálicos
4. Catálogo TUBASOL Grupo Hastinik Perfiles Metálicos

Modello ALI4

- Motore a magneti permanenti CE
- Motore A.C. monofase-trifase CE
- Riduttore vite senza fine - ruota elicoidale
- Stelo filettato trapezoidale o a ricircolo di sfere (VRS)
- Asta traslante in acciaio cromato
- Lubrificazione a grasso
- Attuatore IP 65, testato secondo norma CEI EN 60529 motore C.A. IP55 standard - IP65 a richiesta motore C.C. IP44 standard - IP65 a richiesta
- Temperatura di funzionamento -10°C +60°C
- Impiego intermittente S3 30% (5 min) a 30°C*
- Fine corsa, potenziometro ed encoder a richiesta

(*) Per impieghi diversi contattare il Ns. Ufficio Tecnico

Model ALI4

- Permanent magnet motor CE
- Three phase or single phase motor CE
- Worm gearbox
- Acme lead screw or ballscrew (VRS)
- Chrome plated steel push rod
- Grease lubricated
- Actuator IP65, tested according to rule CEI EN 60529 A.C. motor IP 55 standard - IP65 on request D.C. motor IP 44 standard - IP65 on request
- Working temperature range -10°C +60°C
- Intermittent duty S3 30% (5 min) a 30°C*
- Limit switches, potentiometer and encoder on request

(*) For any special duty please contact our technical dept.

ALI4 - (Vac)												
Fmax Fmax (N)	Velocità Speed (mm/s)	Versione Version	Taglia motore Motor size	Potenza motore Motor power (KW)	Giri motore Motor speed (rpm)	Rapporti Riduzione Gearbox Reduction Ratio	D vite Screw D (mm)	Passo Pitch (mm)	Rendimento Efficiency	Corsa max (mm) Max stroke [mm]		
										ALI4-F	ALI4	
2100	93	M01	IEC71	0,55	2800	1.4	18	8	0,31	1000	1040	
3900	47	M02	IEC71	0,55	2800	1.4	18	4	0,29	500	770	
5300	23	M03	IEC71	0,37	1400	1.4	18	4	0,29	500	660	
8600	9	M04	IEC71	0,25	1400	1:10	18	4	0,28	500	520	
9400	6	M05	IEC63	0,18	1400	1:16	18	4	0,26	495	495	
10000	3	M06	IEC63	0,13	1400	1:30	18	4	0,22	485	485	
10000	2	M07	IEC56	0,09	1400	1:50	18	4	0,20	480	480	

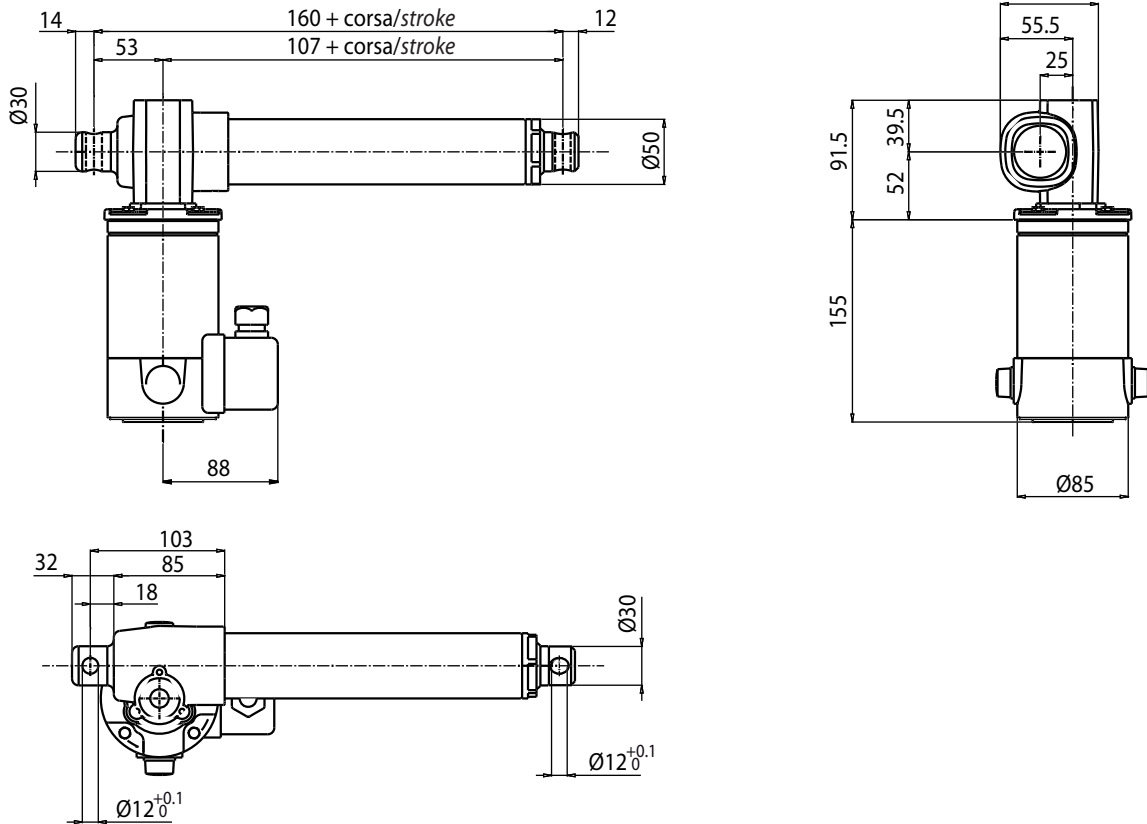
ALI4-VRS (ballscrew 16x5) (Vac)												
Fmax Fmax (N)	Velocità Speed (mm/s)	Versione Version	Taglia motore Motor size	Potenza motore Motor power (KW)	Giri motore Motor speed (rpm)	Rapporti Riduzione Gearbox Reduction Ratio	D vite Screw D (mm)	Passo Pitch (mm)	Rendimento Efficiency	Corsa max (mm) Max stroke [mm]		
										ALI4-F	ALI4	
2500	58	M08	IEC63	0,25	2800	1.4	16	5	0,77	625	825	
3100	29	M09	IEC63	0,18	1400	1.4	16	5	0,77	625	825	
3400	23	M10	IEC56	0,14	2800	1:10	16	5	0,74	625	780	
5000	15	M11	IEC56	0,14	2800	1:16	16	5	0,38	620	620	
6000	7	M12	IEC56	0,09	1400	1:16	16	5	0,68	620	620	
7500	4	M13	IEC56	0,09	1400	1:30	16	5	0,59	570	570	

ALI4-VRS (ballscrew 20x5) (Vac)												
Fmax Fmax (N)	Velocità Speed (mm/s)	Versione Version	Taglia motore Motor size	Potenza motore Motor power (KW)	Giri motore Motor speed (rpm)	Rapporti Riduzione Gearbox Reduction Ratio	D vite Screw D (mm)	Passo Pitch (mm)	Rendimento Efficiency	Corsa max (mm) Max stroke [mm]		
										ALI4-F	ALI4	
3000	58	M32	IEC63	0,25	2800	1.4	20	5	0,77	625	880	
3800	29	M33	IEC63	0,18	1400	1.4	20	5	0,77	625	850	
4200	23	M34	IEC56	0,14	2800	1:10	20	5	0,74	625	850	
6000	15	M35	IEC56	0,14	2800	1:16	20	5	0,38	620	800	
7500	7	M36	IEC56	0,09	1400	1:16	20	5	0,68	620	800	
9000	4	M37	IEC56	0,09	1400	1:30	20	5	0,59	570	720	

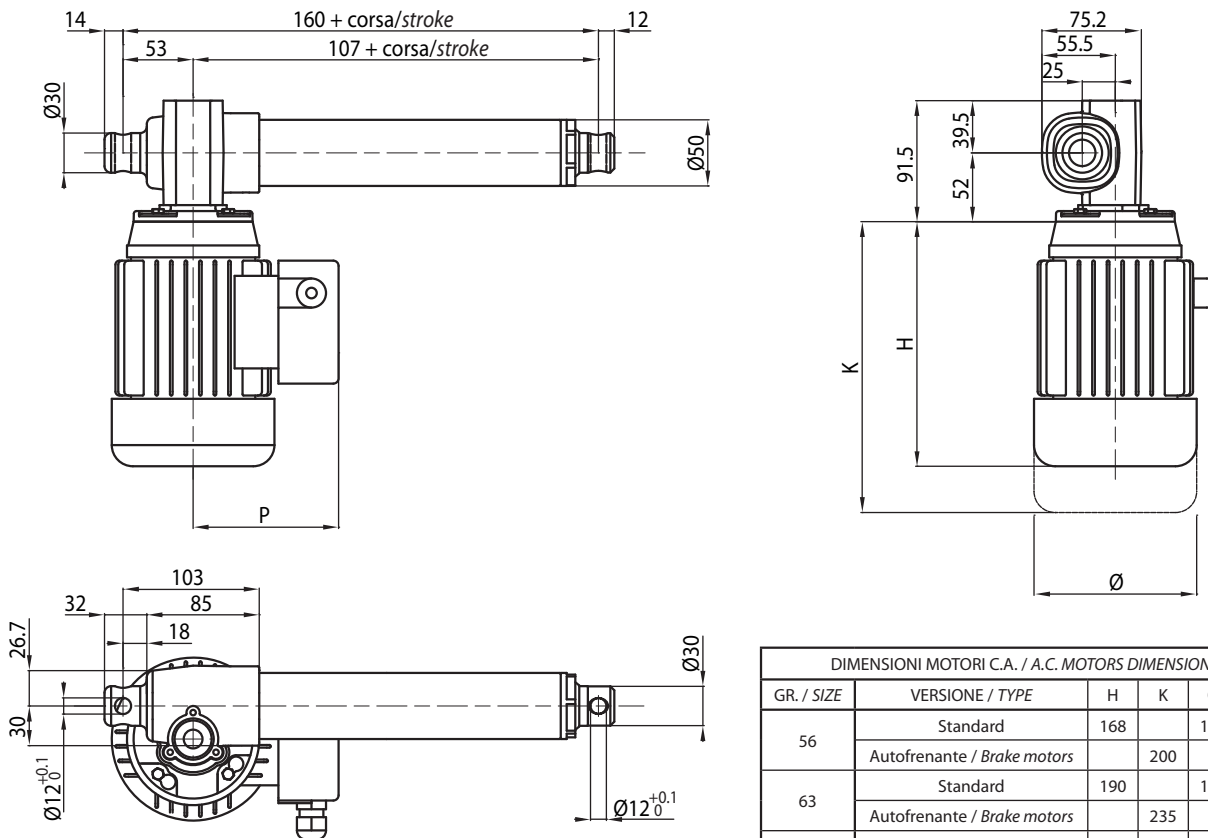
ALI4 24 Vdc												
Fmax Fmax (N)	Velocità Speed (mm/s)	Versione Version	Taglia motore Motor size	Potenza motore Motor power (KW)	Giri motore Motor speed (rpm)	Rapporti Riduzione Gearbox Reduction Ratio	D vite Screw D (mm)	Passo Pitch (mm)	Rendimento Efficiency	Corsa max (mm) Max stroke [mm]		
										ALI4-F	ALI4	
600	100	M20	D.85		3000	1.4	18	8	0,31	1000	1040	
1100	50	M21	D.85		3000	1.4	18	4	0,29	500	1040	
2800	20	M22	D.85		3000	1:10	18	4	0,28	500	905	
4100	13	M23	D.85		3000	1:16	18	4	0,26	500	750	
6800	7	M24	D.85		3000	1:30	18	4	0,22	500	580	
10000	4	M25	D.85		3000	1:50	18	4	0,20	480	480	

ATTUATORE SENZA FINE CORSA / ACTUATOR WITHOUT LIMIT SWITCHES

AL14 - versione C.C. / D.C. Version



AL14 - versione C.A. / A.C. Version



DIMENSIONI MOTORI C.A. / A.C. MOTORS DIMENSIONS					
GR. / SIZE	VERSIONE / TYPE	H	K	Ø	P
56	Standard	168	116	108	
	Autofrenante / Brake motors		200		
63	Standard	190	129	110	
	Autofrenante / Brake motors		235		
71	Standard	220	146	121	
	Autofrenante / Brake motors		267		



Special properties

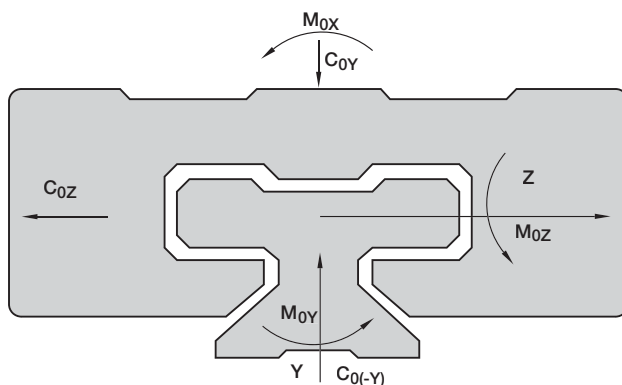
- With a low rate of inertia, high accelerations and short term extreme speeds up to 30 m/s are possible
- DryLin®T linear guide systems run dry. Dirt cannot settle in lubricants
- Recommended for use in food, medical, and clean room technologies, as no lubricants are present
- The corrosion resistance of DryLin® T means that it can also be used in wet environments
- High pressure washdown does not damage the system
- Vibration dampening and extremely quiet operation
- The aluminium rail provides good thermal dissipation. The aluminium only retains heat at continuously high speeds
- The combination of anodized aluminium and iglidur® J results in a low initial breakaway force
- DryLin® T is dimensionally interchangeable with standard ball bearing systems



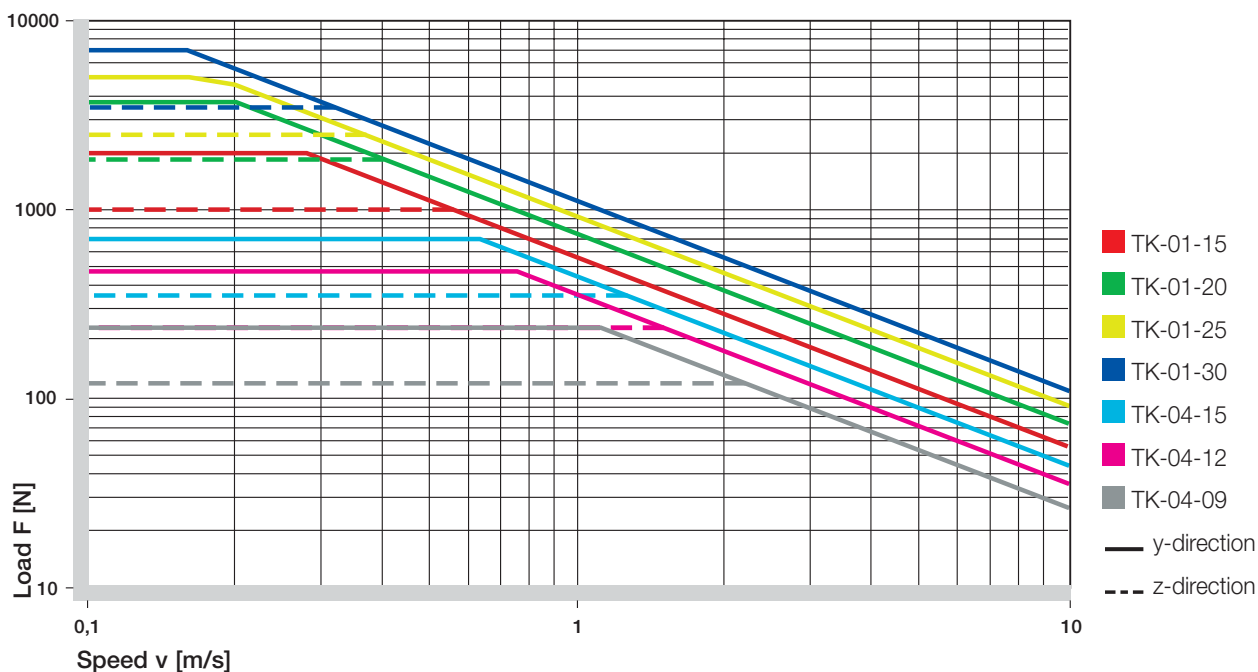
Picture 60.1: DryLin® T in a demanding packaging machine application

Type	C_{0Y} [kN]	$C_{0(-Y)}$ [kN]	C_{0Z} [kN]	M_{0X} [Nm]	M_{0Y} [Nm]	M_{0Z} [Nm]
04-09	0,48	0,48	0,24	3,4	1,8	1,8
04-12	0,96	0,96	0,48	9,2	4,4	4,4
04-15	1,4	1,4	0,7	17	8	8
01-15	4	4	2	32	25	25
01-20	7,4	7,4	3,7	85	45	45
01-25	10	10	5	125	65	65
01-30	14	14	7	200	100	100

Table 61.1: DryLin® T-01 – Permissible static load capacity



Graph 61.1: Designation of load directions



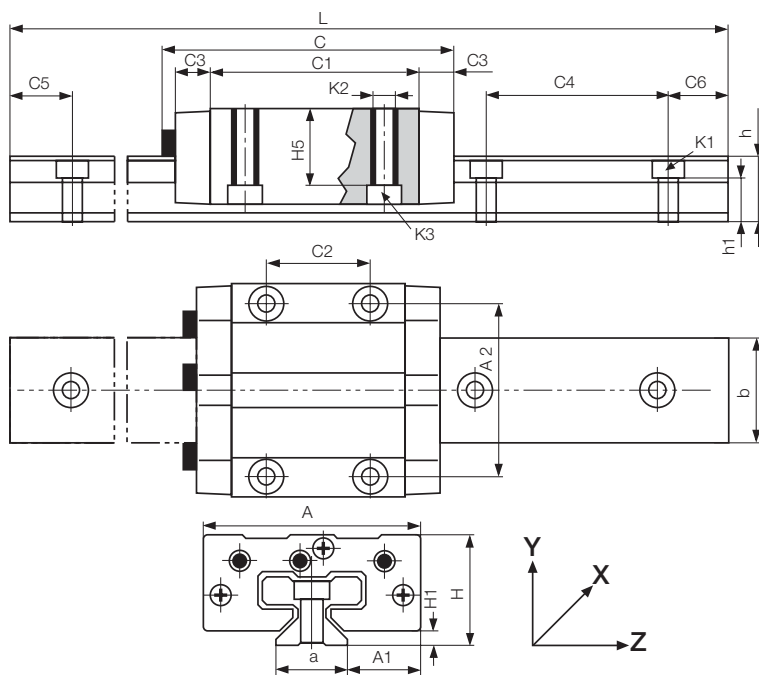
Graph 61.2: DryLin® T – Permissible dynamic load





DryLin® TK-01... | Adjustable clearance | mm

DryLin® T



- Slide carriage with manual adjustable clearance
- Maintenance-free, dry operation
- Resistant to corrosion
- Hard anodized aluminium rails
- Standard bore pattern symmetrical C5 = C6

Phone +44 (0) 1604 - 677240
 Fax +44 (0) 1604 - 677245

DryLin® T Guide Rails

Part No.	Weight [kg/m]	L [mm]	a [mm]	C4 [mm]	C5		C6		h [mm]	h1 [mm]	K1 for Screw DIN 912 [mm]	b [mm]	ly [mm ²]	lz [mm ²]	Wby [mm ³]	Wbz [mm ³]
					Max.	Min.	Max.	Min.								
TS-01-15	0,6	4000	15	60	20	49	20	49	15,5	10,0	M 4	22	6440	4290	585	488
TS-01-20	1,0	4000	20	60	20	49	20	49	19,0	12,3	M 5	31	22570	11520	1456	1067
TS-01-25	1,3	4000	23	60	20	49	20	49	21,5	13,8	M 6	34	34700	19300	2041	1608
TS-01-30	1,9	4000	28	80	20	59	20	59	26,0	15,8	M 8	40	70040	40780	3502	2832

Order example: TS-01-15, 2000 for a guide rail TS-01-15 of 2 m length
 For rails without mounting holes, please use part number suffix "without mounting hole"

igus® UK Ltd

DryLin® T Guide Carriages

Part No.	Weight [kg]	H [mm]	A [mm]	C [mm]	A1		C1 [mm]	C2 [mm]	C3 [mm]	H1 [mm]	H5 [mm]	K2 Thread	Torque Max. [Nm]	K3 for Screw DIN 912
					±0,35	±0,35								
TW-01-15	0,11	24	47	74	16,0	38	50	30	9	4,0	16,0	M 5	1,5	M 4
TW-01-20	0,19	30	63	87	21,5	53	61	40	10	5,0	19,8	M 6	2,5	M 5
TW-01-25	0,29	36	70	96	23,5	57	68	45	11	5,0	24,8	M 8	6,0	M 6
TW-01-30	0,50	42	90	109	31,0	72	79	52	12	6,5	27,0	M 10	15,0	M 8

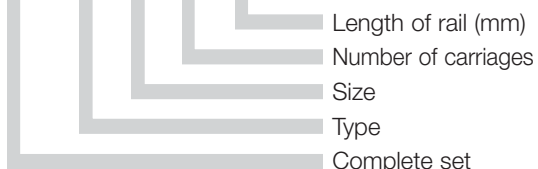
Order examples: TW-01-20 for a guide carriage
 TW-01-20, LLy for a guide carriage with floating bearing in y-direction
 TW-01-20, LLz for a guide carriage with floating bearing in z-direction

DryLin® TK-01 Complete System



Structure – part no.

TK	-01	-15	-2	,500
----	-----	-----	----	------



This order example (TK-01-15-2, 500) corresponds to a complete DryLin® system of size 15 with 2 carriages and 500 mm rail length.

Order TK-01-15-2, 500, LLy for a complete system with floating bearing in y-direction.

Internet www.igus.co.uk
 E-mail sales_uk@igus.co.uk



perfiles estructurales
perfiles comerciales
calibrados
chapas
construcción
tubos
perfiles para carpintería metálica
entramado
biondas y vigas de soporte
accesorios para soldar o roscar
chapa de recubrimiento
chapas perforadas
chapa repujada
metal déployé
sistemas de cerramiento
trefilería

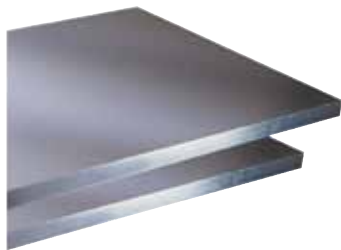
PRODUCTOS, METALÚRGICOS



Suministros para la industria y la construcción

CHAPAS LAMINADAS EN CALIENTE

Calidad de acero S235JR.



PESO DE LA CHAPA EN KG PARA ESPESORES DE

Formato	Superficie	1,5 mm	2 mm	2,5 mm	3 mm	4 mm	5 mm
2000 x 1000	2,00	24,60	32,80	41,00	49,20	65,60	82,00
2500 x 1250	3,13	38,44	51,25	64,06	76,88	102,50	128,13
3000 x 1000	3,00	36,90	49,20	61,50	73,80	98,40	123,00
3000 x 1500	4,50	55,35	73,80	92,25	110,70	147,60	184,50
4000 x 1000	4,00	49,20	65,60	82,00	98,40	131,20	164,00
4000 x 1500	6,00	73,80	98,40	123,00	147,60	196,80	246,00
4000 x 1800	7,20	/	/	/	177,12	236,16	295,20
4000 x 2000	8,00	/	/	/	196,80	262,40	328,00
5000 x 1500	7,50	/	/	/	184,50	246,00	307,50
5000 x 1800	9,00	/	/	/	221,40	295,20	369,00
5000 x 2000	10,00	/	/	/	246,00	328,00	410,00
6000 x 1500	9,00	/	/	/	221,40	295,20	369,00
6000 x 1800	10,80	/	/	/	265,68	354,24	442,80
6000 x 2000	12,00	/	/	/	295,20	393,60	492,00
8000 x 2000	16,00	/	/	/	393,60	524,80	656,00

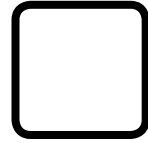
Formato	Superficie	6 mm	8 mm	10 mm	12 mm	15 mm
2000 x 1000	2,00	98,40	131,20	164,00	196,80	246,00
2500 x 1250	3,13	153,75	205,00	256,25	307,50	384,38
3000 x 1000	3,00	147,60	196,80	246,00	295,20	369,00
3000 x 1500	4,50	221,40	295,20	369,00	442,80	553,50
4000 x 1000	4,00	196,80	262,40	328,00	393,60	492,00
4000 x 1500	6,00	295,20	393,60	492,00	590,40	738,00
4000 x 1800	7,20	354,24	472,32	590,40	708,48	885,60
4000 x 2000	8,00	393,60	524,80	656,00	787,20	984,00
5000 x 1500	7,50	369,00	492,00	615,00	738,00	922,50
5000 x 1800	9,00	442,80	590,40	738,00	885,60	1.107,00
5000 x 2000	10,00	492,00	656,00	820,00	984,00	1.230,00
6000 x 1500	9,00	442,80	590,40	738,00	885,60	1.107,00
6000 x 1800	10,80	531,36	708,48	885,60	1.062,72	1.328,40
6000 x 2000	12,00	590,40	787,20	984,00	1.180,80	1.476,00
8000 x 2000	16,00	787,20	1.049,60	1.312,00	1.574,40	1.968,00

SOLDADOS CUADRADOS

Laminados en frío, caliente, decapados, galvanizados.

Suministro en barras a largo comercial.

Otras longitudes bajo pedido.



PESO EN KG/M PARA ESPESORES DE:

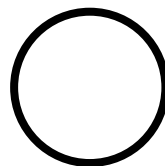
Medidas (mm)	1	1,5	2	3	4	5	6	8	10	12	12,5
10x10	0,32	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12x12	0,38	0,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14x14	0,44	0,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16x16	0,49	0,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18x18	0,54	0,80	1,04	-	-	-	-	-	-	-	-
20x20	0,62	0,90	1,16	-	-	-	-	-	-	-	-
22x22	0,68	1,00	1,30	-	-	-	-	-	-	-	-
25x25	0,78	1,14	1,50	-	-	-	-	-	-	-	-
28x28	0,87	1,29	1,69	-	-	-	-	-	-	-	-
30x30	0,95	1,39	1,82	-	-	-	-	-	-	-	-
32x32	1,03	1,52	2,00	-	-	-	-	-	-	-	-
35x35	1,10	1,63	2,15	2,94	-	-	-	-	-	-	-
38x38	1,21	-	-	3,24	-	-	-	-	-	-	-
40x40	1,26	1,88	2,48	3,43	4,37	-	-	-	-	-	-
45x45	-	2,13	2,80	3,92	-	-	-	-	-	-	-
50x50	-	2,37	3,13	4,42	5,67	6,82	7,86	-	-	-	-
55x55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60x60	-	2,87	3,79	5,40	6,98	8,46	9,83	-	-	-	-
70x70	-	3,37	4,43	6,38	8,29	10,09	11,75	-	-	-	-
75x75	-	-	4,76	-	-	-	-	-	-	-	-
80x80	-	3,85	5,10	7,35	9,59	11,75	13,73	17,06	-	-	-
90x90	-	-	5,75	8,33	10,92	13,31	15,70	19,66	-	-	-
100x100	-	-	6,31	9,32	12,17	14,98	17,68	22,26	26,73	-	-
110x110	-	-	-	10,30	13,52	16,64	19,66	24,86	29,85	-	-
120x120	-	-	-	11,23	14,77	18,20	21,53	27,46	33,28	37,44	38,48
125x125	-	-	-	11,75	15,50	19,03	22,57	28,81	34,84	39,42	40,56
130x130	-	-	-	12,27	16,12	19,86	23,50	30,06	36,40	41,19	42,54
140x140	-	-	-	13,31	17,47	21,53	25,48	32,66	39,73	45,24	46,80
150x150	-	-	-	14,25	18,72	23,19	27,46	35,26	43,16	49,40	50,96
160x160	-	-	-	15,18	20,07	24,75	29,43	37,96	46,28	53,04	54,81
175x175	-	-	-	16,64	22,05	27,25	32,34	41,81	51,48	59,28	61,05
180x180	-	-	-	17,16	22,67	28,08	33,38	43,16	52,73	60,84	62,92
200x200	-	-	-	-	25,27	31,30	37,23	48,36	59,28	68,64	71,03
220x220	-	-	-	-	-	-	41,18	53,56	65,73	76,44	79,25
250x250	-	-	-	-	-	-	47,01	61,46	75,61	88,19	91,52
260x260	-	-	-	-	-	-	-	64,06	78,83	92,14	95,58

SOLDADOS REDONDOS

Laminados en frío, caliente, decapados, galvanizados.

Suministro en barras a largo comercial.

Otras longitudes bajo pedido.



PESO EN KG/M PARA ESPEORES DE:

Ø (mm)	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8	10	12	12,5
10	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	0,3	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	0,3	0,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	0,3	0,48	0,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,4	0,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	0,4	0,56	0,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	0,4	0,63	0,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	0,5	0,67	0,87	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0,5	0,71	0,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	0,5	0,79	1,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	0,6	0,90	1,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	1,23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	0,7	1,02	1,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	0,7	1,09	1,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	0,8	1,18	1,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33,7	-	-	-	2,36	-	-	-	-	-	-	-	-
35	0,9	1,29	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	1,0	1,40	1,85	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	1,0	1,48	1,94	2,85	-	-	-	-	-	-	-	-
42	1,1	1,56	2,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42,4	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	1,1	1,60	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	1,1	1,67	2,2	3,23	-	-	-	-	-	-	-	-
48	1,2	1,79	2,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48,3	-	-	-	3,48	4,54	-	-	-	-	-	-	-
50	1,3	1,86	2,46	3,62	4,72	-	-	-	-	-	-	-
55	1,4	2,06	2,71	4	5,23	-	-	-	-	-	-	-
57	-	2,14	2,82	4,16	5,44	-	-	-	-	-	-	-
60	1,5	2,25	2,97	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60,3	-	-	-	4,41	5,77	-	-	-	-	-	-	-
63	-	2,37	3,13	4,62	6,05	-	-	-	-	-	-	-
65	1,7	2,44	3,23	-	-	-	-	-	-	-	-	-

SOLDADOS RECTANGULARES

Laminados en frío, caliente, decapados, galvanizados.

Suministro en barras a largo comercial.

Otras longitudes bajo pedido.



PESO EN KG/M PARA ESPEORES DE:

Esesor (mm)	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8	10	12	12,5
16x10	0,38	0,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20x10	0,46	0,66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20x15	0,54	0,78	1,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25x10	0,54	0,78	1,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25x15	0,62	0,90	1,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25x20	0,70	1,02	1,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30x10	0,62	0,90	1,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30x15	0,70	1,02	1,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30x20	0,78	1,14	1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30x25	0,87	1,27	1,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35x10	0,70	1,02	1,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35x15	0,78	1,14	1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35x20	0,87	1,27	1,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35x25	0,95	1,39	1,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40x10	0,78	1,14	1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40x15	0,87	1,27	1,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40x20	0,95	1,39	1,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40x25	1,03	1,52	1,99	2,70	-	-	-	-	-	-	-	-
40x27	-	-	2,80	2,80	-	-	-	-	-	-	-	-
40x30	1,10	1,63	2,15	2,94	-	-	-	-	-	2,15	-	-
40x35	-	1,76	2,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45x10	-	1,27	1,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45x15	0,95	1,39	1,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45x20	-	1,52	1,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45x25	-	1,63	2,15	2,94	-	-	-	-	-	-	-	-
45x30	-	1,76	2,31	3,19	-	-	-	-	-	-	-	-
45x35	-	1,88	2,48	3,43	4,37	-	-	-	-	-	-	-
50x10	0,95	1,39	1,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50x15	1,03	1,52	1,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50x20	-	1,63	2,15	2,94	-	-	-	-	-	-	-	-
50x25	-	1,76	2,31	3,19	-	-	-	-	-	-	-	-
50x30	-	1,88	2,47	3,43	4,37	-	-	-	-	-	-	-
50x35	-	2,00	2,64	3,68	-	-	-	-	-	-	-	-
50x40	-	2,13	2,80	3,92	5,02	-	-	-	-	-	-	-
60x10	-	1,63	2,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60x15	-	1,76	2,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60x20	-	1,88	2,48	3,43	-	-	-	-	-	-	-	-
60x25	-	2,00	2,64	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60x30	-	2,13	2,80	3,92	-	-	-	-	-	-	-	-
60x40	-	2,37	3,13	4,42	5,67	6,82	7,86	-	-	-	-	-
60x50	-	2,64	3,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70x20	-	2,13	2,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-

División Industrial





Tubos de acero estirados en frío

DIN 10305-2 (DIN 2393) soldados - EN 10305-1 (DIN 2391) sin soldadura

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS

Diámetro exterior especificado D con intervalos de tolerancia	Espesor de pared								
	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
12									
14									
15	±0,08								
16									
18									
20		12±0,15							
22		14±0,15							
25		17±0,15	16±0,15						
26		18±0,15	17±0,15						
28		20±0,15	19±0,15						
30		22±0,15	21±0,15	20±0,15					
32		24±0,15	23±0,15	22±0,15					
35		27±0,15	26±0,15	25±0,15					
38	±0,15	30±0,15	29±0,15	28±0,15	27±0,15				
40		32±0,15	31±0,15	30±0,15	29±0,15				
42		34±0,20	33±0,20	32±0,20	31±0,20				
45		37±0,20	36±0,20	35±0,20	34±0,20	33±0,20			
48	±0,20	40±0,20	39±0,20	38±0,20	37±0,20	36±0,20			
50		42±0,20	41±0,20	40±0,20	39±0,20	38±0,20			
55		47±0,25	46±0,25	45±0,25	44±0,25	43±0,25	41±0,25		
60	±0,25	52±0,25	51±0,25	50±0,25	49±0,25	48±0,25	46±0,25		
65		57±0,30	56±0,30	55±0,30	54±0,30	53±0,30	51±0,30		
70	±0,30	62±0,30	61±0,30	60±0,30	59±0,30	58±0,30	56±0,30		
75		67±0,35	66±0,35	65±0,35	64±0,35	63±0,35	61±0,35	59±0,35	
80	±0,35	72±0,35	71±0,35	70±0,35	69±0,35	68±0,35	66±0,35	64±0,35	
85		77±0,40	76±0,40	75±0,40	74±0,40	73±0,40	71±0,40	69±0,40	
90	±0,40	82±0,40	81±0,40	80±0,40	79±0,40	78±0,40	76±0,40	74±0,40	
95		87±0,45	86±0,45	85±0,45	84±0,45	83±0,45	81±0,45	79±0,45	
100	±0,45	92±0,45	91±0,45	90±0,45	89±0,45	88±0,45	86±0,45	84±0,45	82±0,45
110		102±0,50	101±0,50	100±0,50	99±0,50	98±0,50	96±0,50	94±0,50	92±0,50
120	±0,50	112±0,50	111±0,50	110±0,50	109±0,50	108±0,50	106±0,50	104±0,50	102±0,50
130		122±0,70	121±0,70	120±0,70	119±0,70	118±0,70	116±0,70	114±0,70	112±0,70
140	±0,70	132±0,70	131±0,70	130±0,70	129±0,70	128±0,70	126±0,70	124±0,70	122±0,70
150	±0,80	142±0,80	141±0,80	140±0,80	139±0,80	138±0,80	136±0,80	134±0,80	132±0,80

T= 0,05D ↑

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

PLANOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

TÍTULO

DISEÑO DE UN EXOESQUELETO: TORSO

AUTORES

Fabián de León Mazariegos

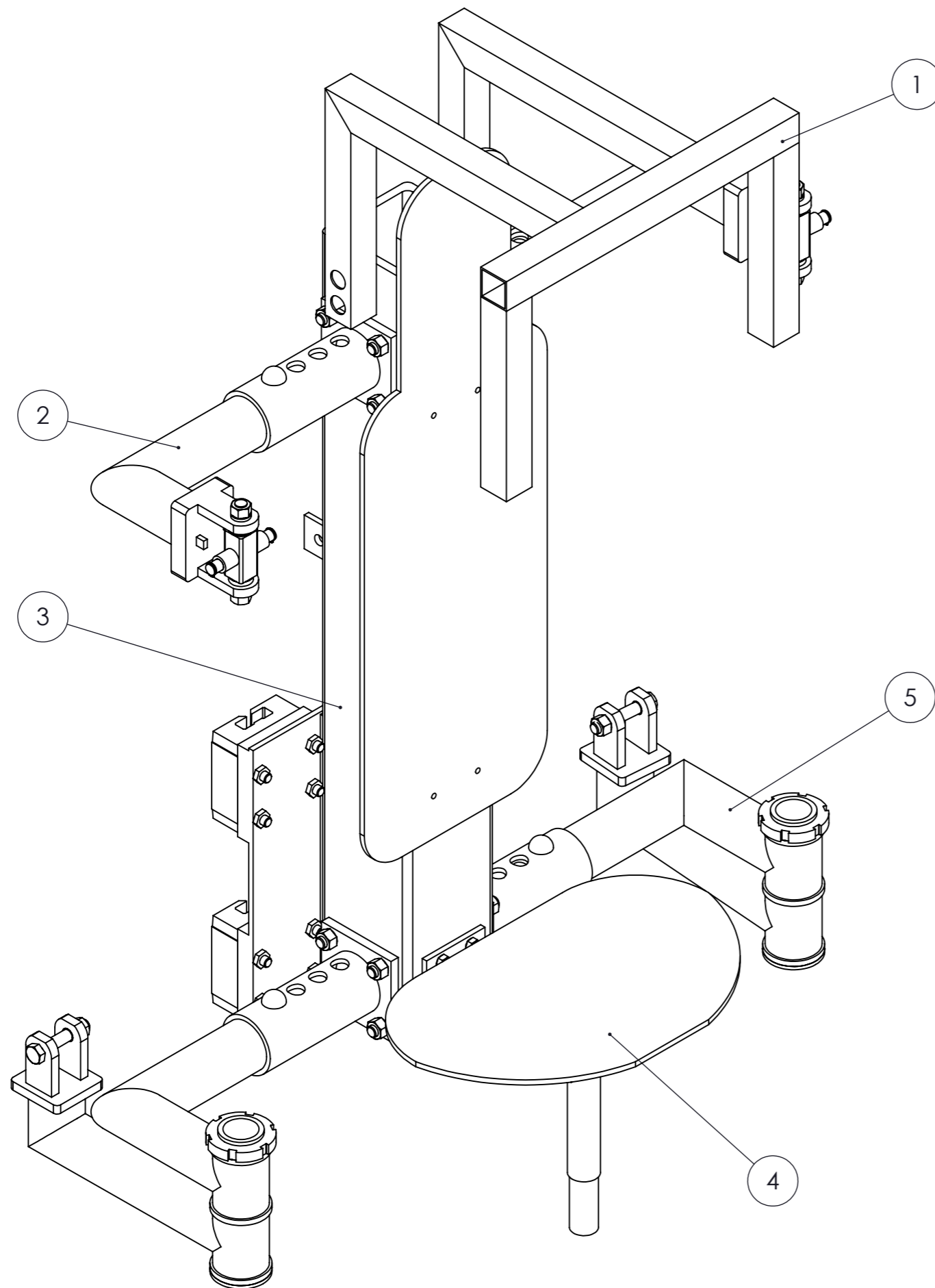
Moisés Jiménez Rodríguez

TUTOR

Carmelo Militello Militello

Índice Planos

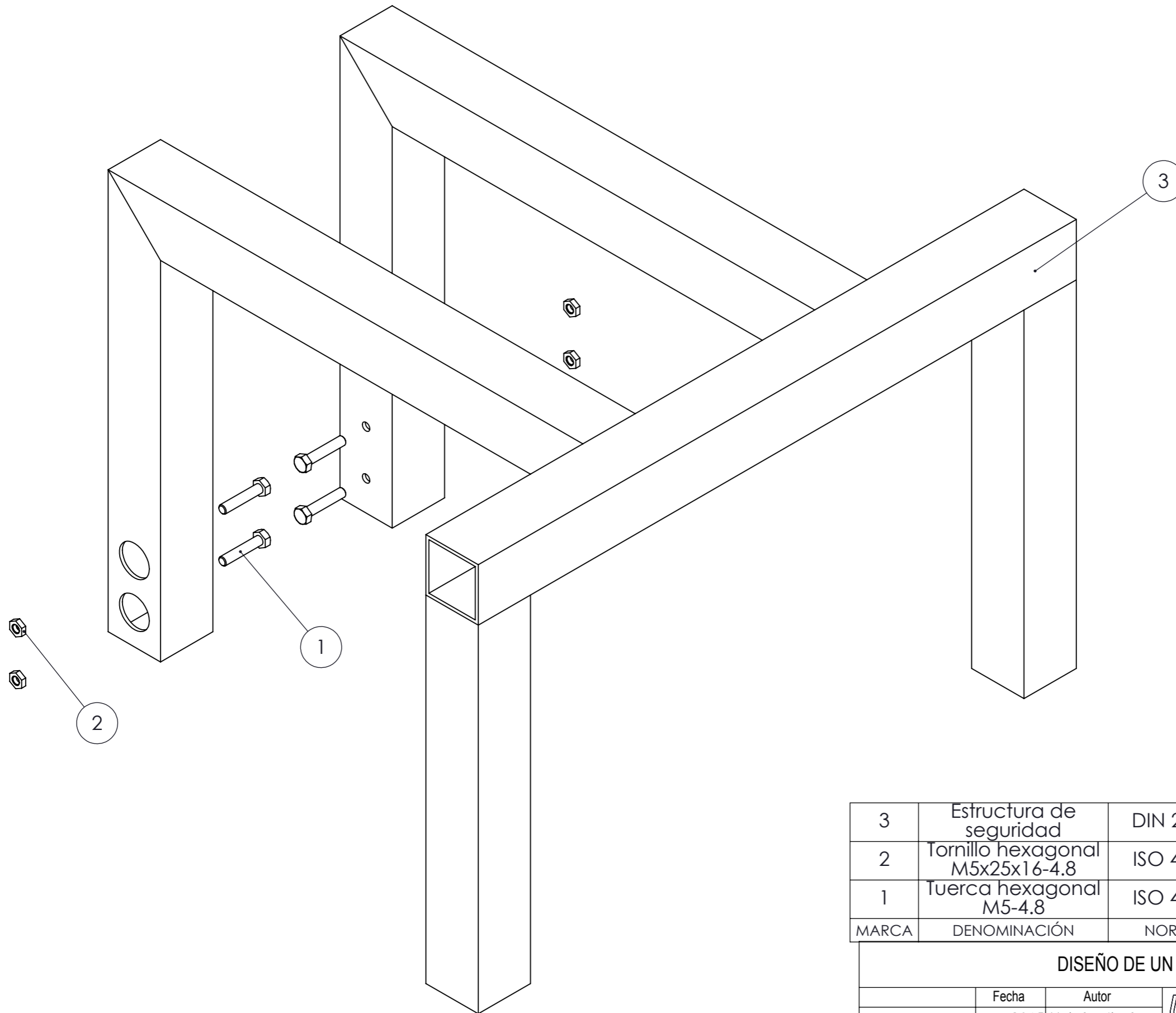
1. Conjunto torso
 - 1.1. Subconjunto estructura de seguridad
 - 1.1.1. Estructura de seguridad
 - 1.2. Subconjunto estructura del hombro
 - 1.2.1. Perfil tubular y placa hombro
 - 1.2.2. Estructura retráctil hombro
 - 1.2.3. Cilindro giratorio
 - 1.2.4. Perno hombro
 - 1.2.5. Oreja desmontable
 - 1.2.6. Buje de bronce 2
 - 1.3. Subconjunto estructura de la columna
 - 1.3.1. Columna
 - 1.3.2. Separador
 - 1.3.3. Apoyo espalda
 - 1.4. Subconjunto estructura del asiento
 - 1.4.1. Soporte tija
 - 1.4.2. Sillín
 - 1.5. Subconjunto estructura de soporte
 - 1.5.1. Estructura retráctil soporte
 - 1.5.2. Perfiles tubulares y horquilla soporte
 - 1.5.3. Buje de bronce y tapa



5	Subconjunto estructura de soporte	2
4	Subconjunto estructura del asiento	1
3	Subconjunto estructura de la columna	1
2	Subconjunto estructura del hombro	2
1	Subconjunto estructura de seguridad	1
MARCA	DENOMINACIÓN	Nº PIEZAS

DISEÑO DE UN EXOSQUELETO: TORSO

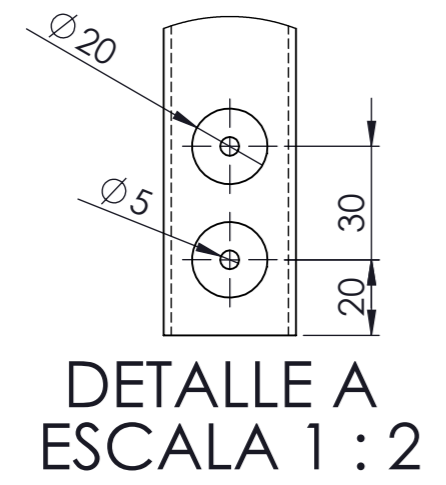
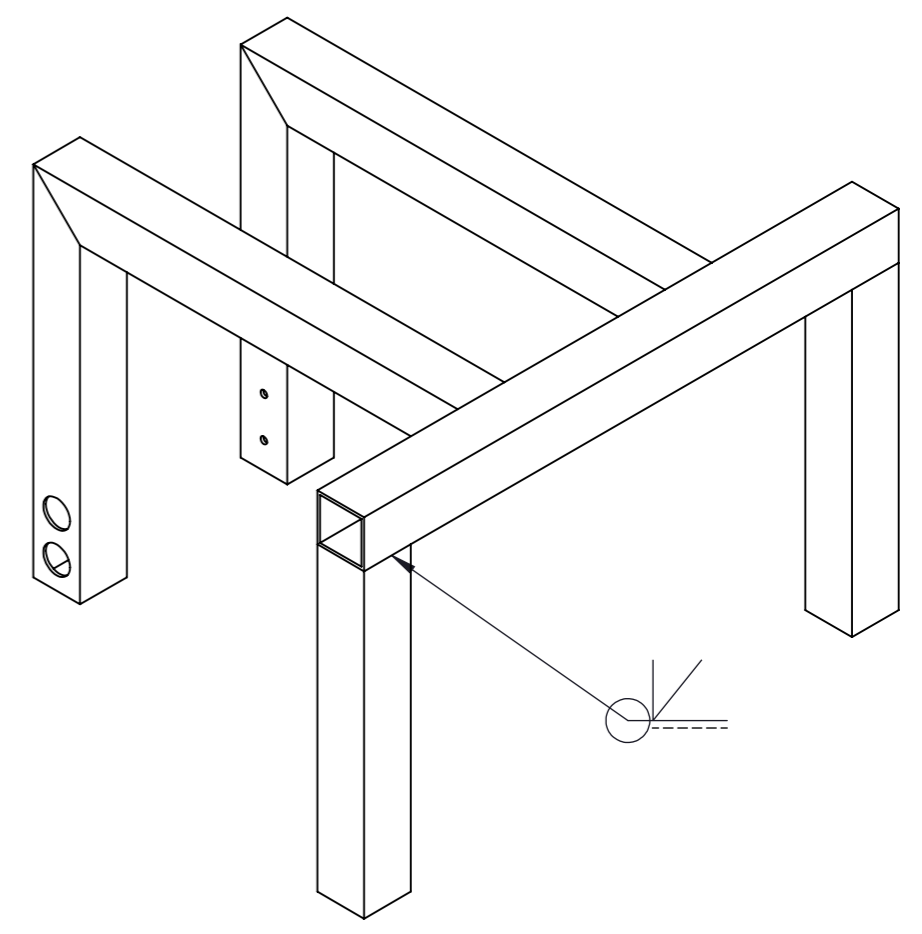
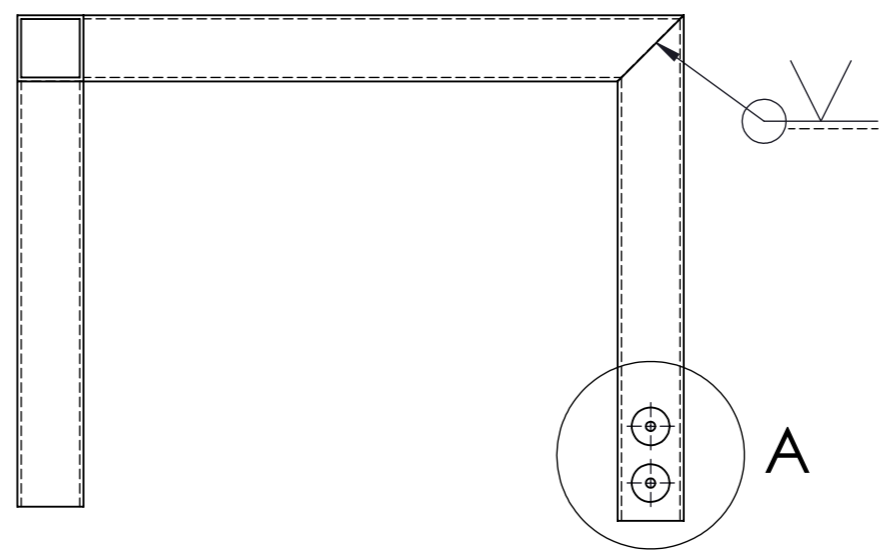
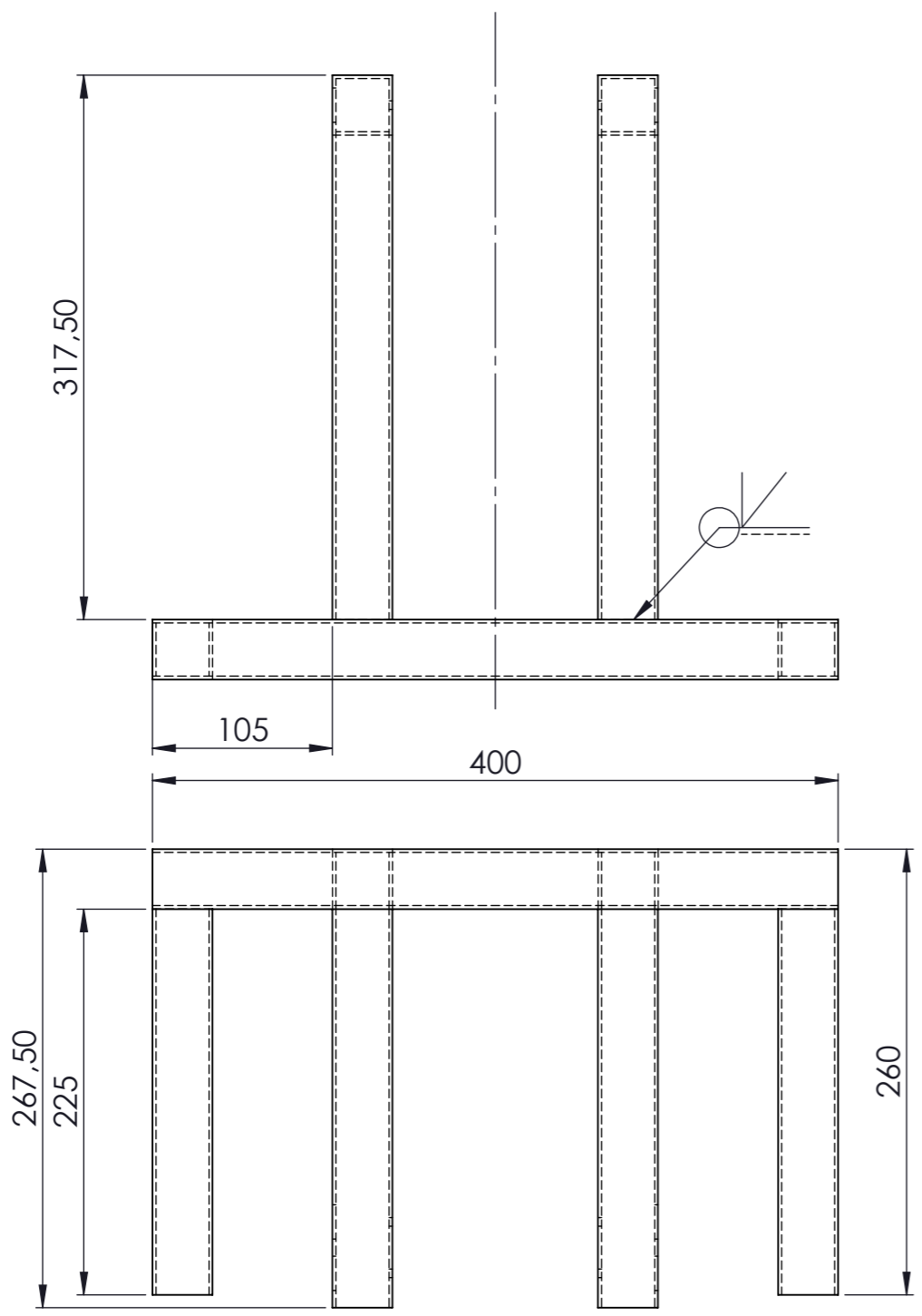
	Fecha	Autor		ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Nombre y Apellidos	JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de León		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA: 1:5	TITULO DEL PLANO CONJUNTO DEL TORSO			Nº P.: 1




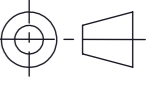
3	Estructura de seguridad	DIN 2395	1	S275JR	
2	Tornillo hexagonal M5x25x16-4.8	ISO 4015	4		
1	Tuerca hexagonal M5-4.8	ISO 4036	4		
MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES

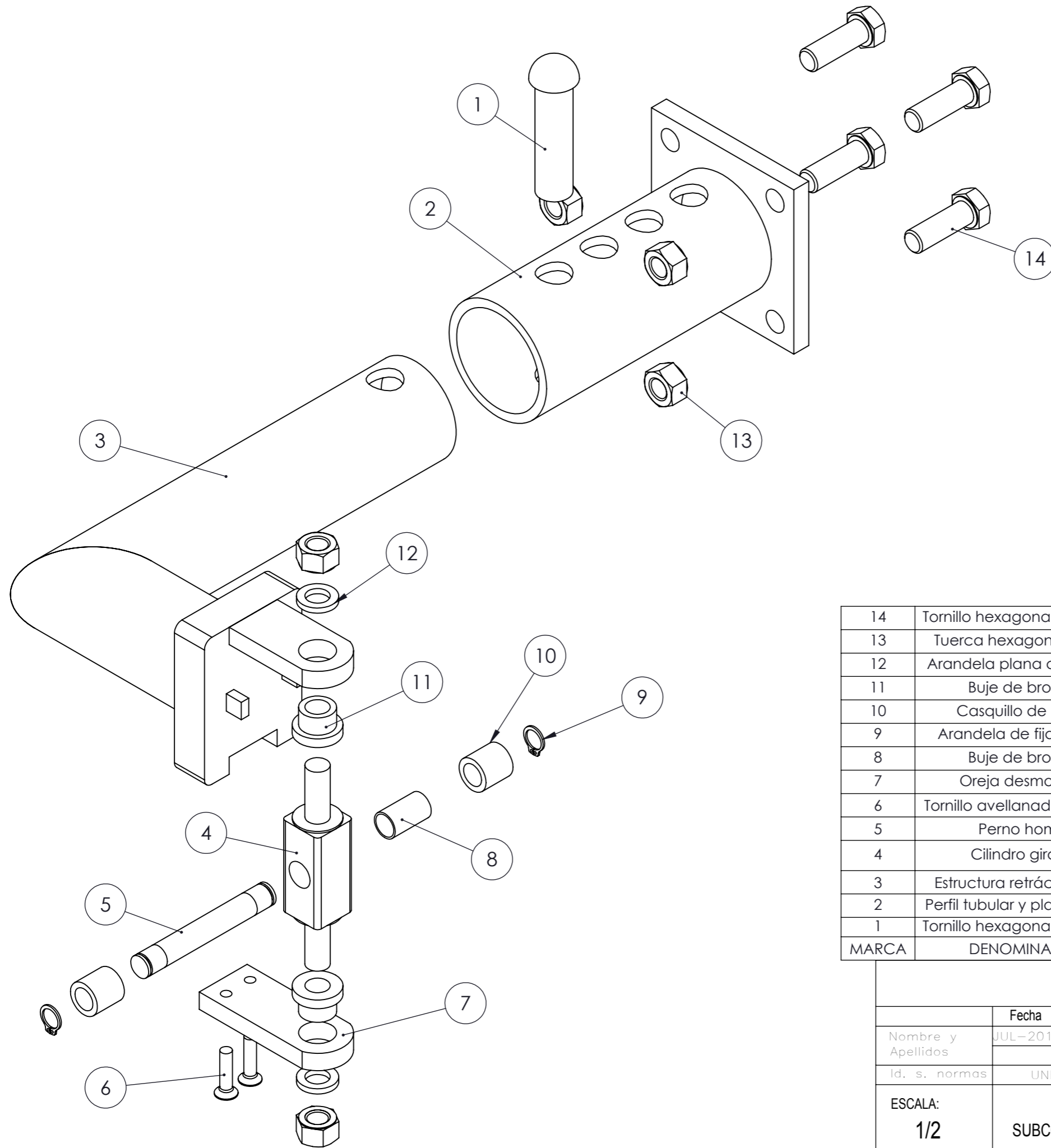
DISEÑO DE UN EXOSQUELETO: TORSO

	Fecha	Autor		ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Nombre y Apellidos	JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de León		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA: 1:2	TITULO DEL PLANO SUBCONJUNTO ESTRUCTURA DE SEGURIDAD			Nº P.: 1.1



Perfil cuadrado 35x2 mm
Tolerancias generales de 0,1 mm salvo especificación

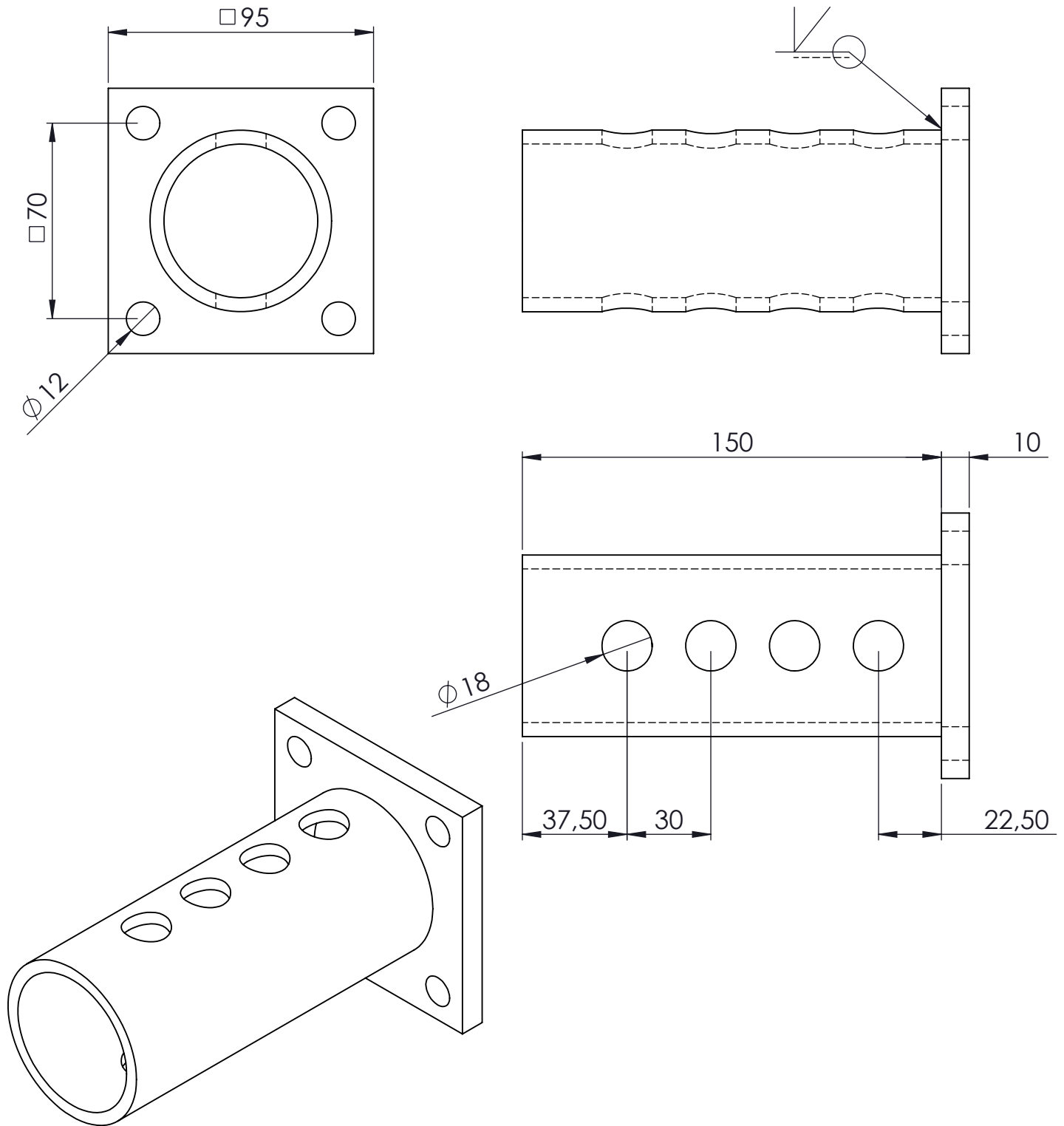
MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES
3	Estructura de seguridad	DIN 2395	1	S275JR	
DISEÑO DE UN EXOSQUELETO: TORSO					
Nombre y Apellidos	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Id. s. normas	JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de León			
ESCALA:	TITULO DEL PLANO			Nº P.: 1.1.1	
1:4	ESTRUCTURA DE SEGURIDAD				



14	Tornillo hexagonal M12x35-8.8	DIN 7990	4		
13	Tuerca hexagonal M12-8.8	ISO 4032	6		
12	Arandela plana diámetro 12	ISO 8738	2		
11	Buje de bronce 2		2	Bronce	
10	Casquillo de bronce	DIN 1494	2	Bronce	
9	Arandela de fijación 11x1	DIN 471	2		
8	Buje de bronce 1	DIN 1494	1	Bronce	
7	Oreja desmontable		1	AISI 020	
6	Tornillo avellanado M6x25-5.8	ISO 7046-1	2		
5	Perno hombro		1	AISI 1020	
4	Cilindro giratorio		1	AISI 1020	
3	Estructura retráctil hombro		1		
2	Perfil tubular y placa hombro		1		
1	Tornillo hexagonal M18x65-6.8	DIN 7990	1		
MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES

DISEÑO DE UN EXOSQUELETO: TORSO

Nombre y Apellidos	Fecha	Autor		ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Id. s. normas	JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de León		
ESCALA:	TITULO DEL PLANO		Nº P.: 1.2	
1/2	SUBCONJUNTO ESTRUCTURA DEL HOMBRO			

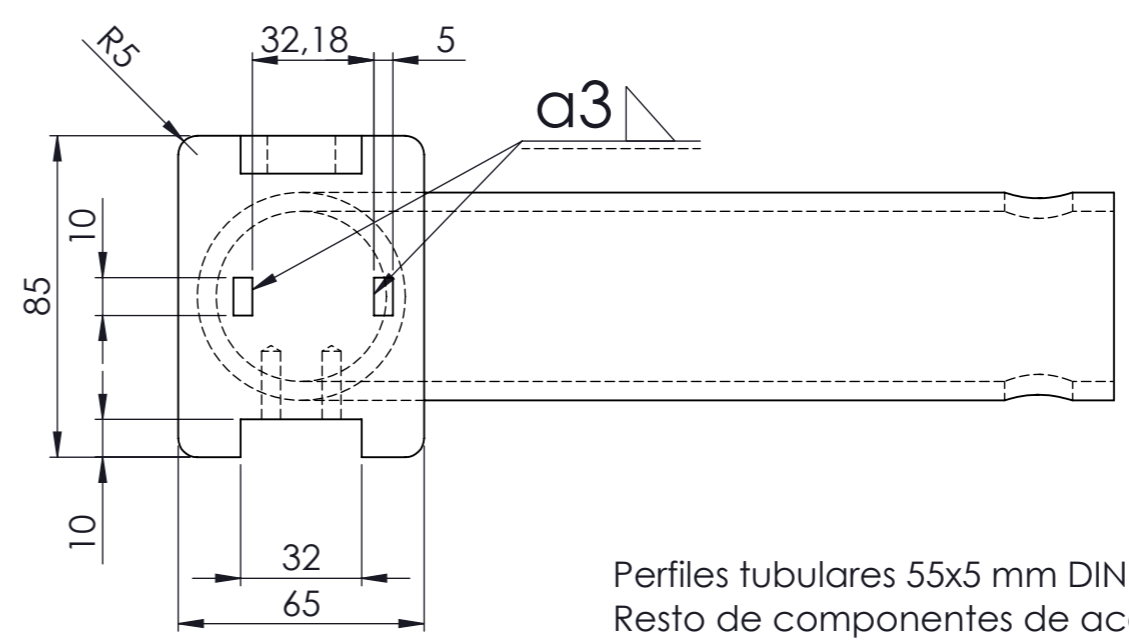
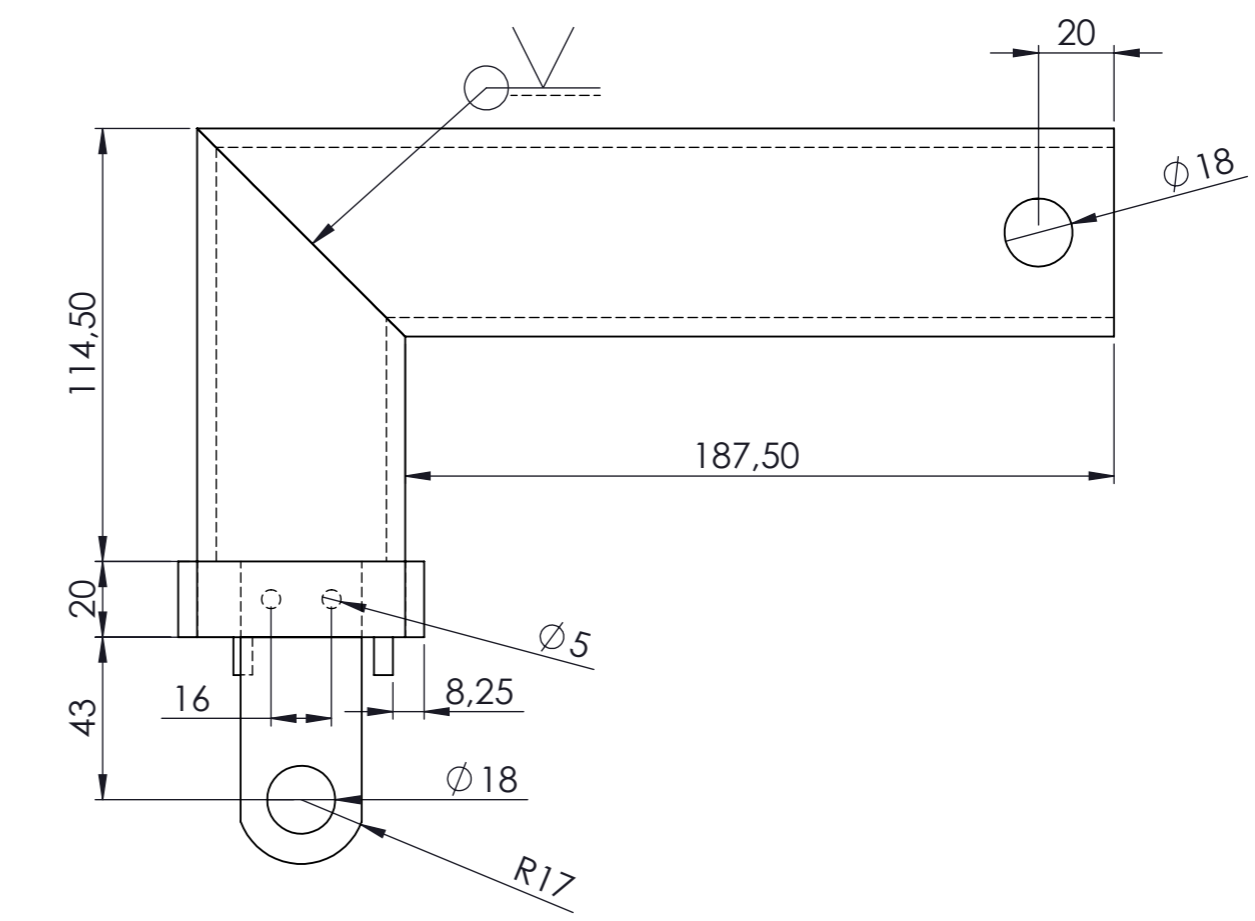
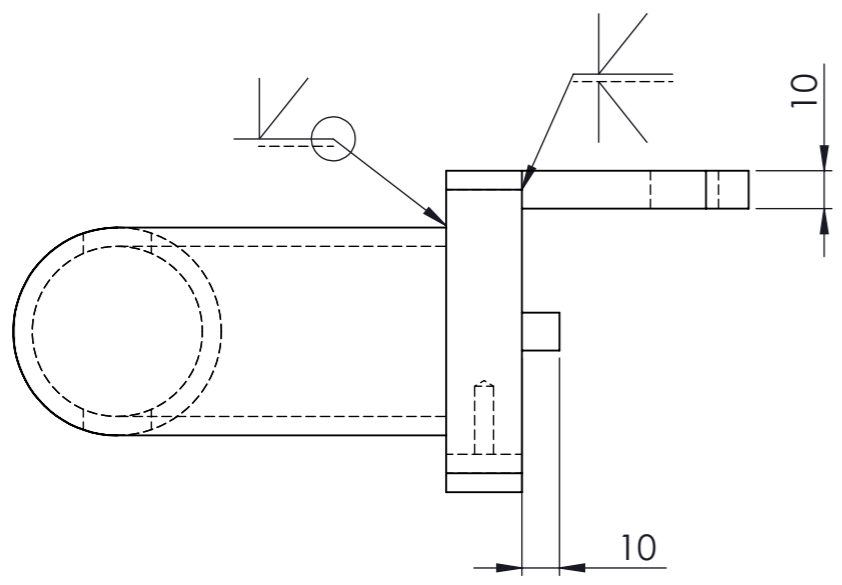
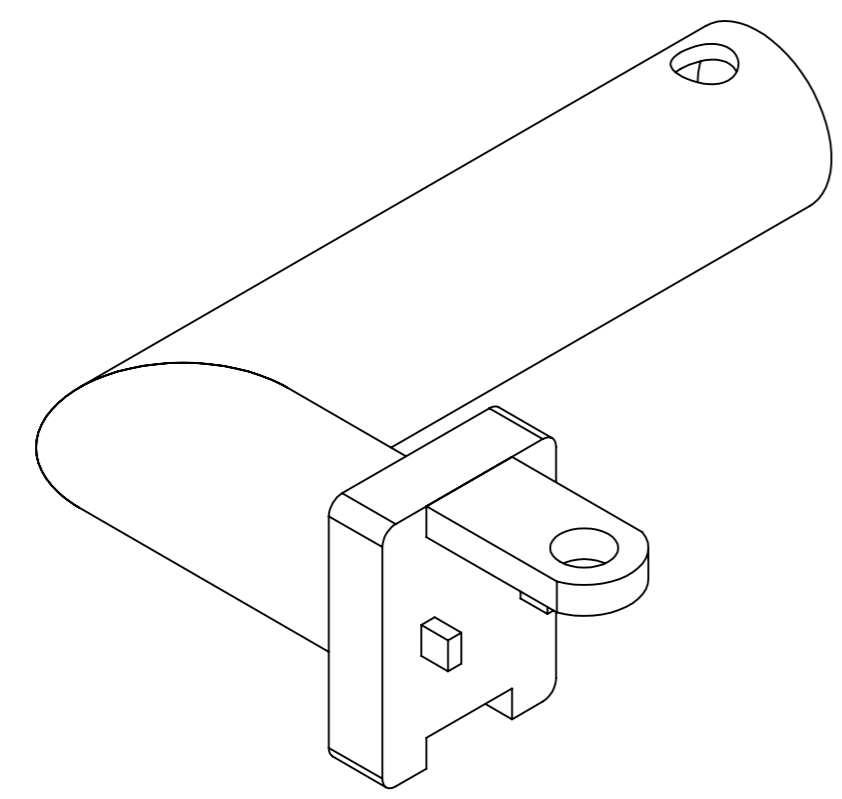


Peril tubular 65x5 mm DIN 2391, Material E-355


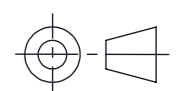
Chapa de acero AISI 1020

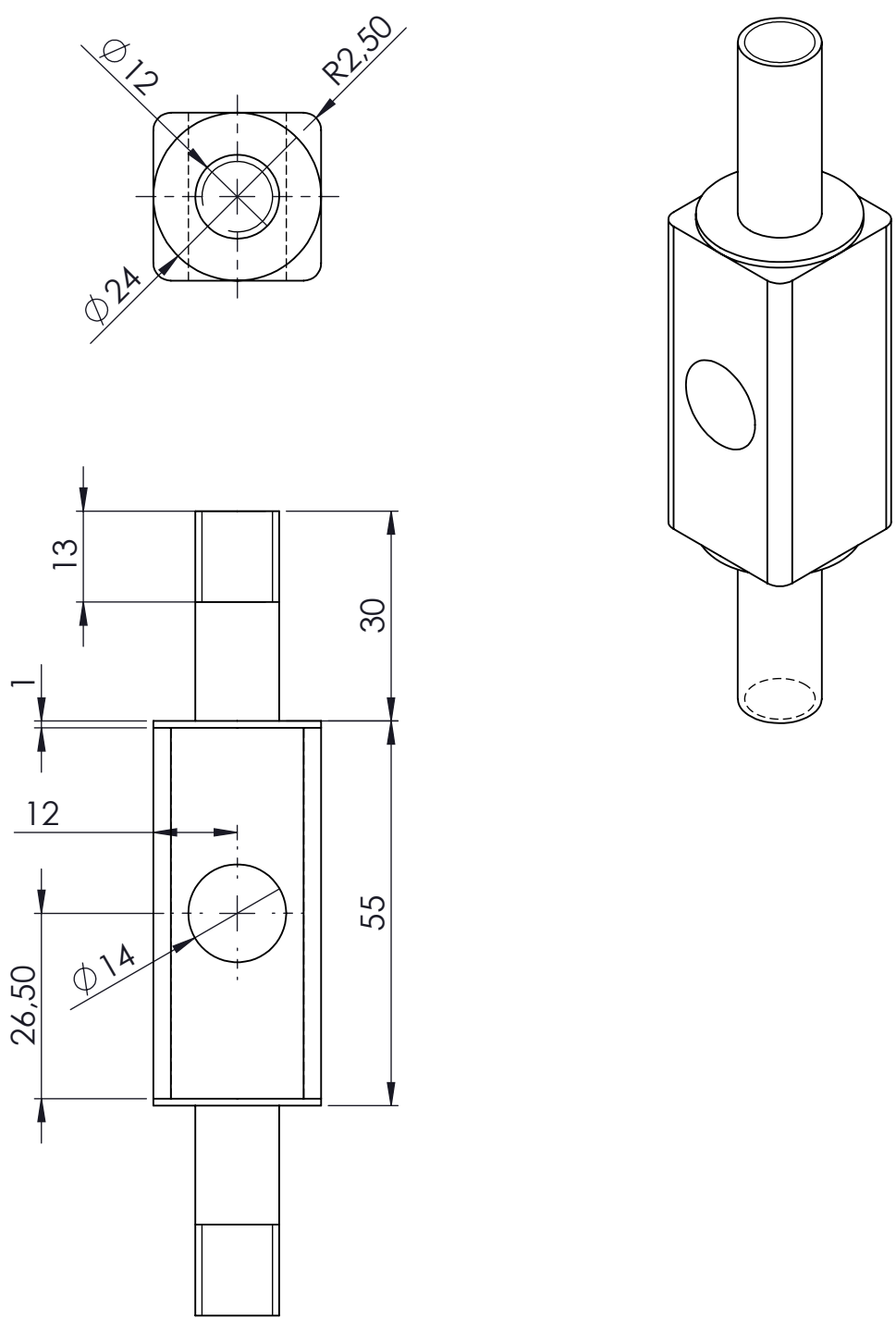
Tolerancias generales de 0,1 mm salvo especificación

2	Perfil tubular y placa hombro		1		
MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES
DISEÑO DE UN EXOESQUELETO: TORSO					
	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Nombre y Apellidos	JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de León			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA: 1:2	TITULO DEL PLANO PERFIL TUBULAR Y PLACA HOMBRO			Nº P.: 1.2.1	

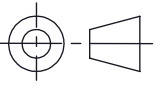


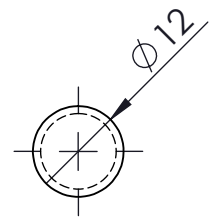
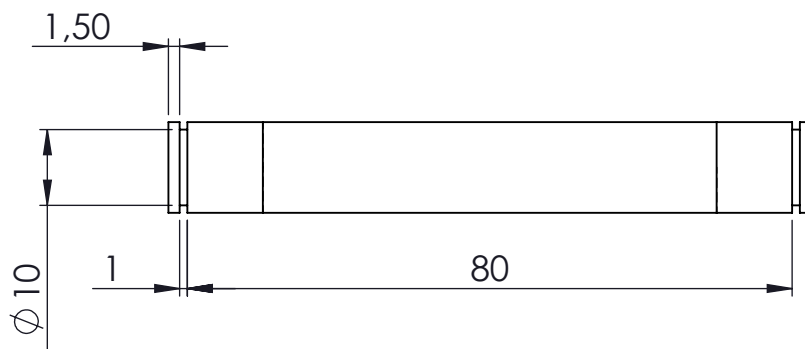
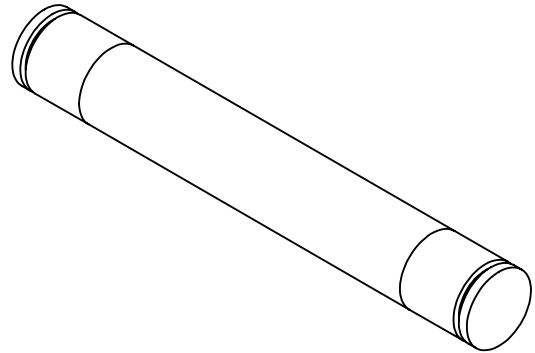
Perfiles tubulares 55x5 mm DIN 2391, Material E-355
 Resto de componentes de acero AISI 1020
 Tolerancias generales de 0,1 mm salvo especificación

3	Estructura retráctil hombro		1		
MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES
DISEÑO DE UN EXOSQUELETO: TORSO					
		Fecha	Autor		 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Nombre y Apellidos		JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de León		
Id. s. normas		UNE-EN-DIN			
ESCALA:	TITULO DEL PLANO		Nº P.:		
1:2	ESTRUCTURA RETRÁCTIL HOMBRO		1.2.2		



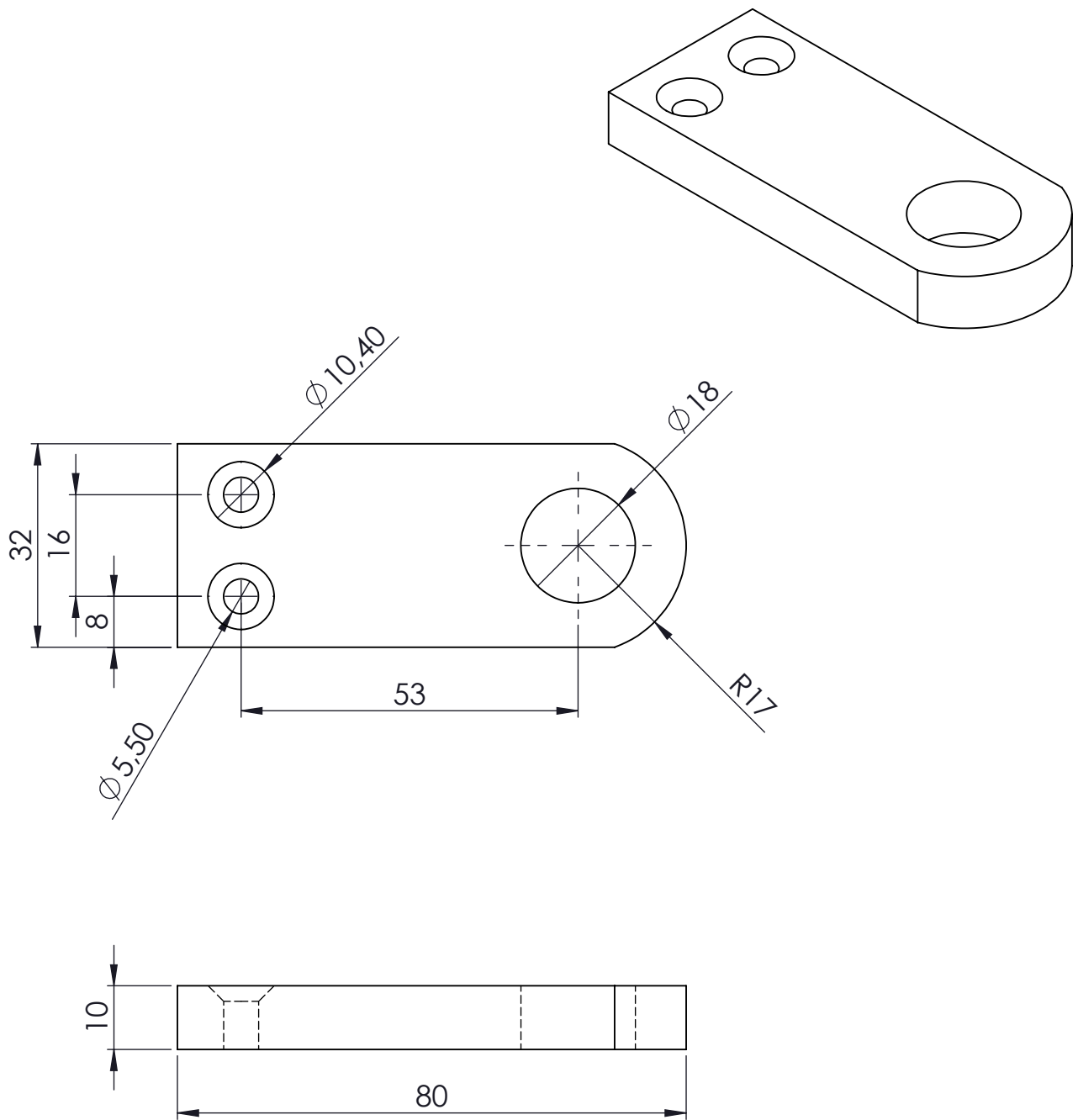
Tolerancias generales de 0,1 mm salvo especificación

4	Cilindro giratorio		1	AIISI 1020	
MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES
DISEÑO DE UN EXOSQUELETO: TORSO					
	Fecha	Autor		 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Nombre y Apellidos	JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de León			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA: 1:1	TITULO DEL PLANO CILINDRO GIRATORIO			Nº P.: 1.2.3	


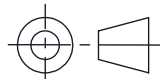


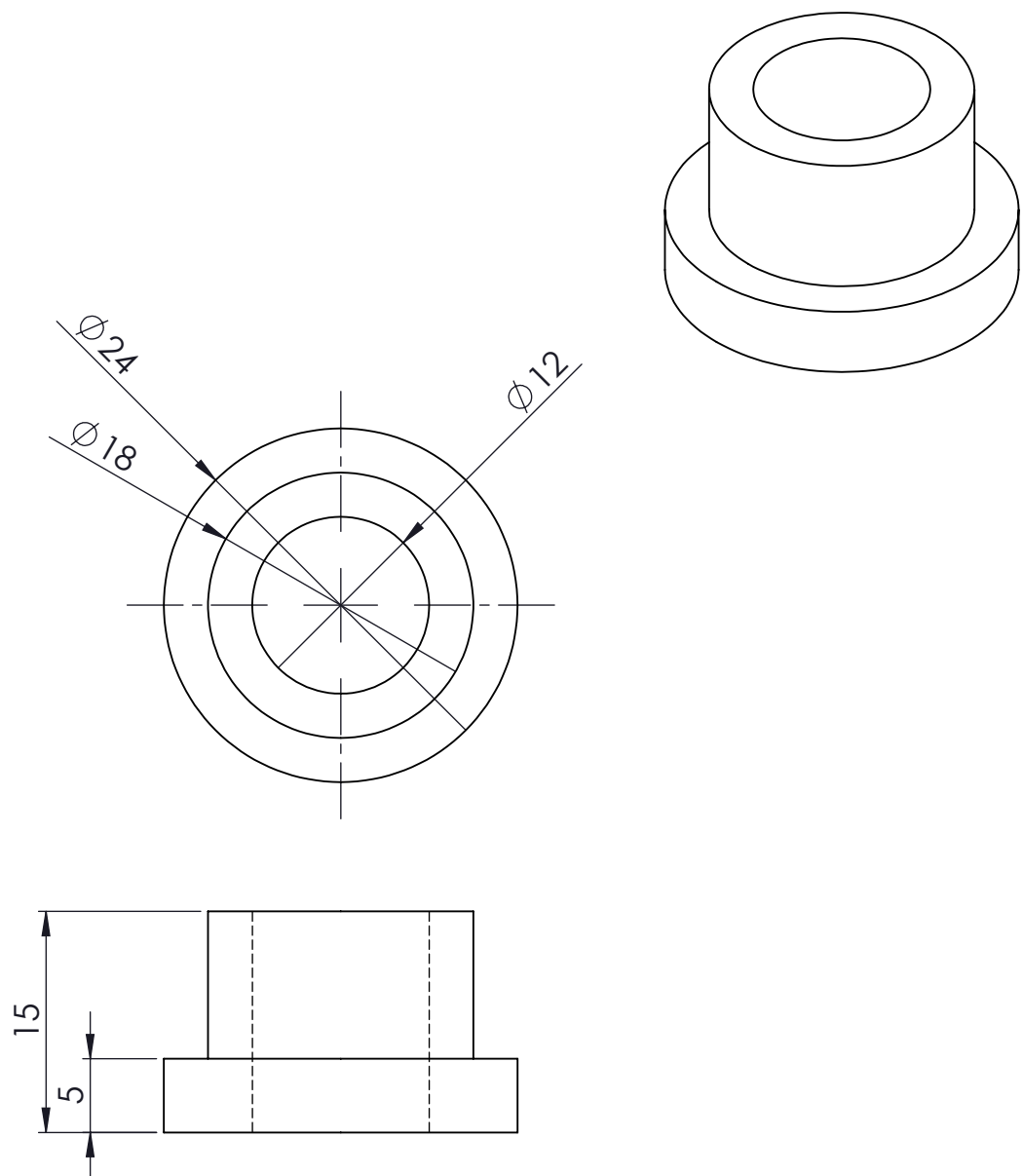
Tolerancias generales de 0,1 mm salvo especificación

MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES
5	Perno hombro		1	AI SI 1020	
DISEÑO DE UN EXOESQUELETO: TORSO					
Nombre y Apellidos	Fecha	Autor			ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
	JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de León			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA: 1:1	TITULO DEL PLANO PERNO HOMBRO			Nº P.: 1.2.4	


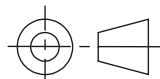


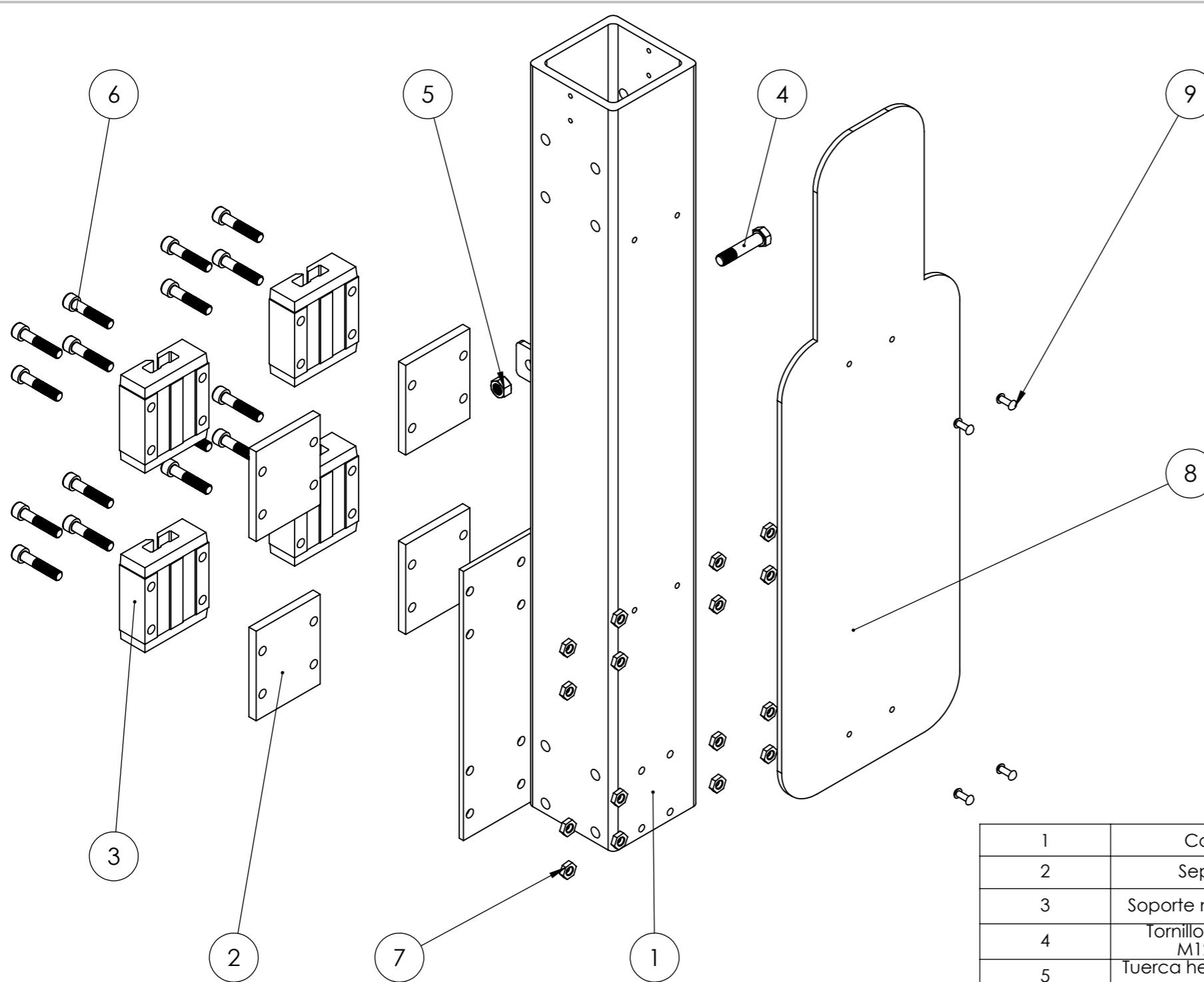
Tolerancias generales de 0,1 mm salvo especificación

7	Oreja desmontable		1	AIISI 020	
MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES
DISEÑO DE UN EXOESQUELETO: TORSO					
	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Nombre y Apellidos	JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de León			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA: 1:1	TITULO DEL PLANO OREJA DESMONTABLE			Nº P.: 1.2.5	




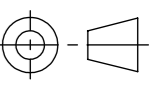
Tolerancias generales de 0,1 mm salvo especificación

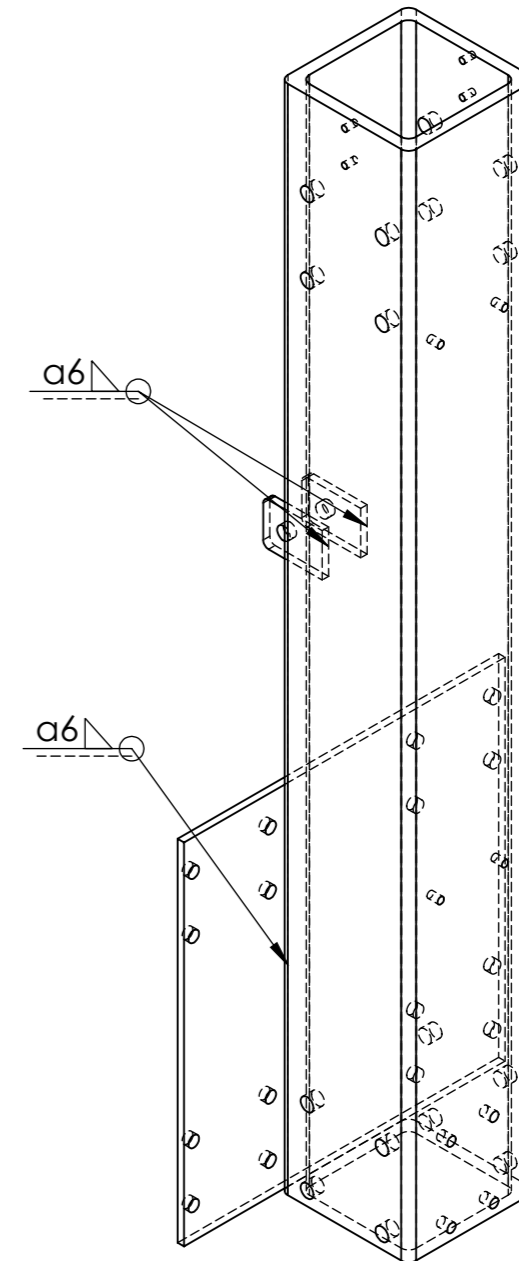
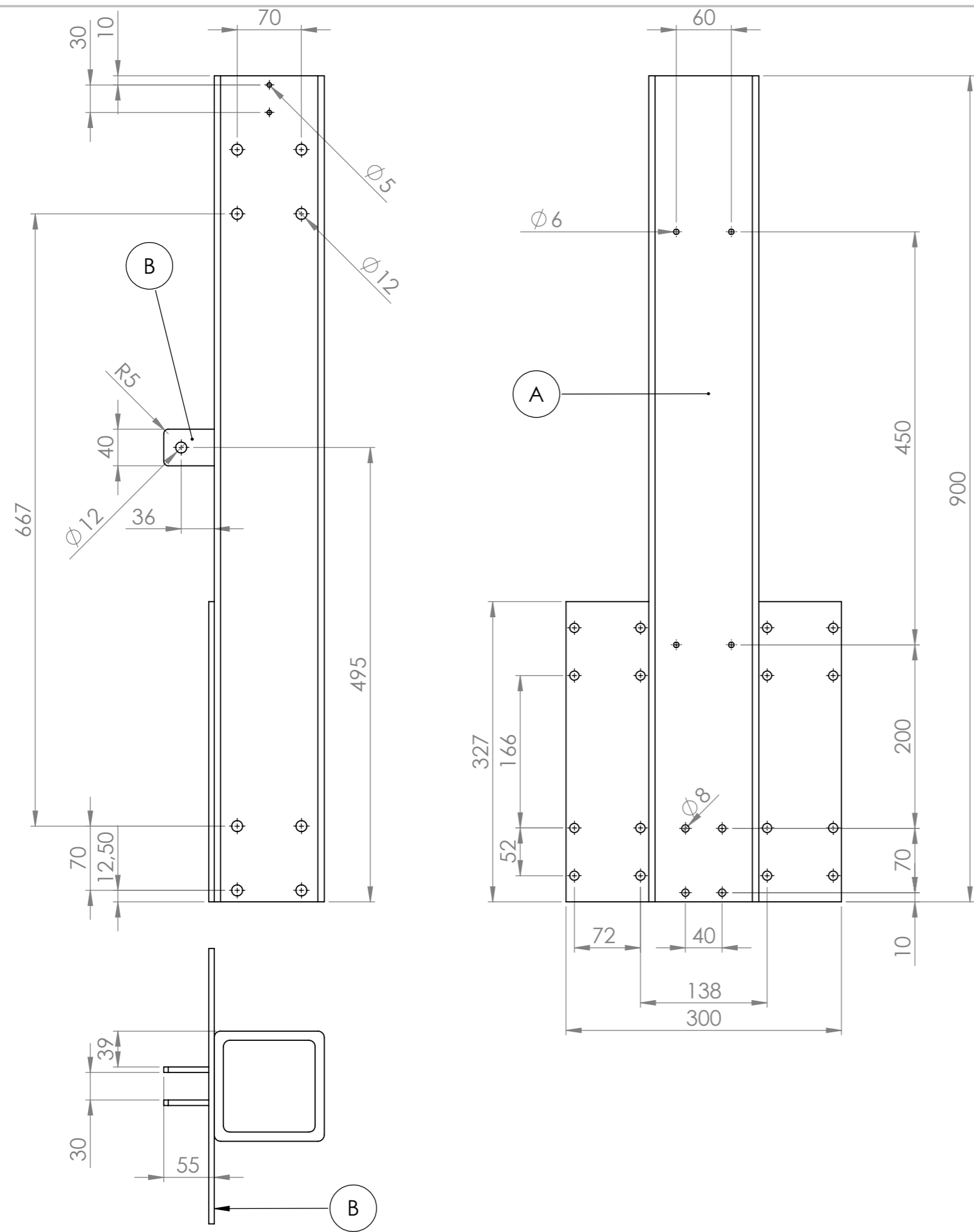
11	Buje de bronce 2		2	Bronce	
MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES
DISEÑO DE UN EXOESQUELETO: TORSO					
	Fecha	Autor		 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Nombre y Apellidos	JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de León			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA: 2:1	TITULO DEL PLANO BUJE DE BRONCE 2			Nº P.: 1.2.6	



1	Columna		1		
2	Separador		4	Acero S235JR	
3	Soporte móvil espalda		4		IGUS Drylin-T TW-01-30
4	Tornillo hexagonal M12x55-4.8	DIN 7990	1		
5	Tuerca hexagonal M12-8.8	ISO 4032	1		
6	Tornillo hexagonal M10x50x32S	ISO 4762	16		
7	Tuerca hexagonal M10-N	ISO 4036	16		
8	Apoyo espalda		1	Acero S235JR	
9	Remache 6x25-St-A-16	DIN 660	4		
MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES

DISEÑO DE UN EXOESQUELETO: TORSO


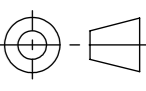
Nombre y Apellidos	Fecha	Autores		ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Id. s. normas	JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de León		
		UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:5	TITULO DEL PLANO SUBCONJUNTO ESTRUCTURA DE LA COLUMNA		Nº P.: 1.3	

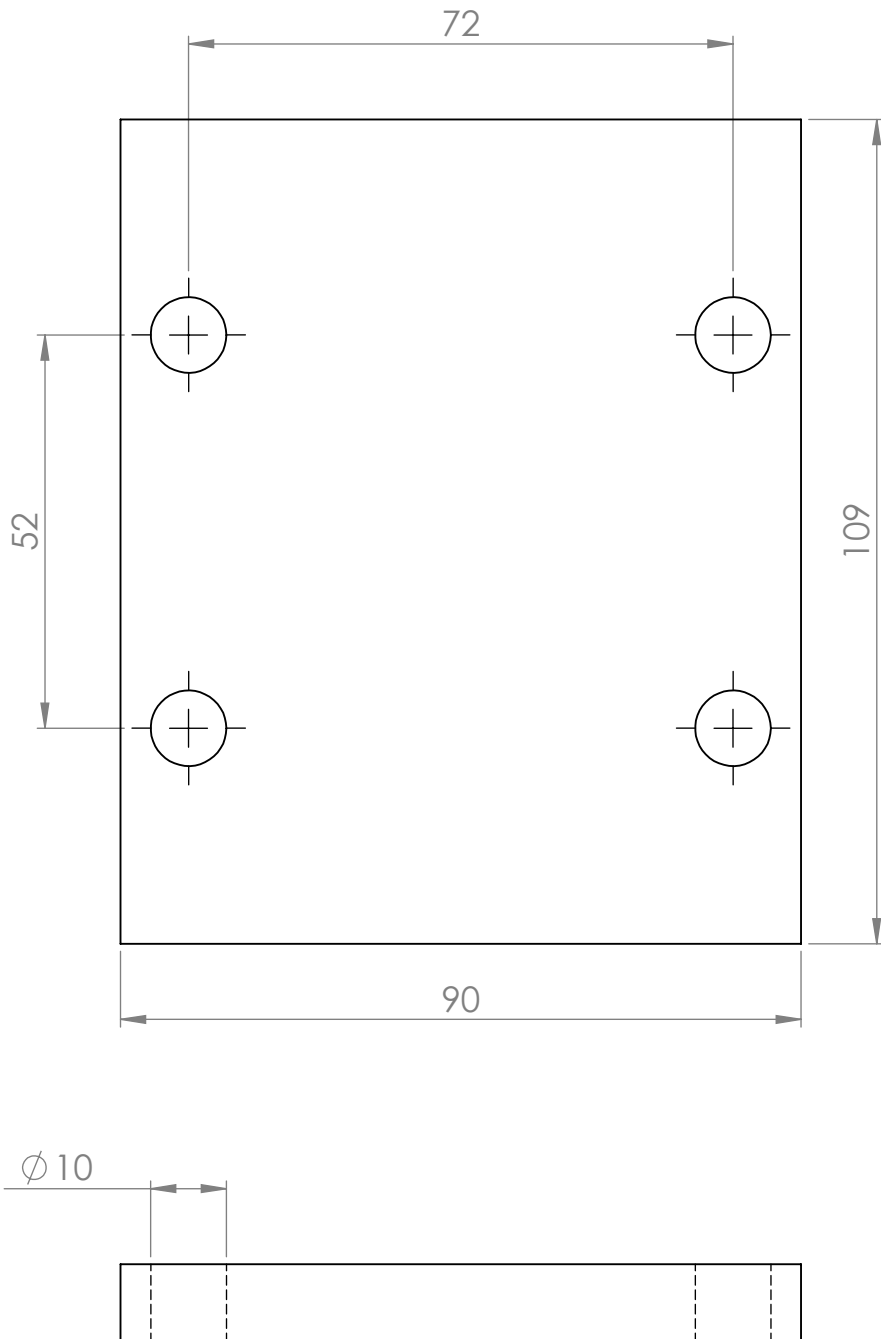


A. Perfil Tubular 120x120x10mm DIN 2395 Acero S275JR
 B. Chapa 6mm Acero S235JR
 Tolerancias generales de 0.1mm salvo especificación

1	Columna		1		
MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES

DISEÑO DE UN EXOSQUELETO: TORSO

Fecha	Autores		 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA	
JUL-2015	Moisés Jiménez	Fabián de León		Grado en Ingeniería Mecánica	
Id. s. normas		UNE-EN-DIN		Universidad de La Laguna	
ESCALA: 1:5	TITULO DEL PLANO COLUMNA			Nº P.: 1.3.1	

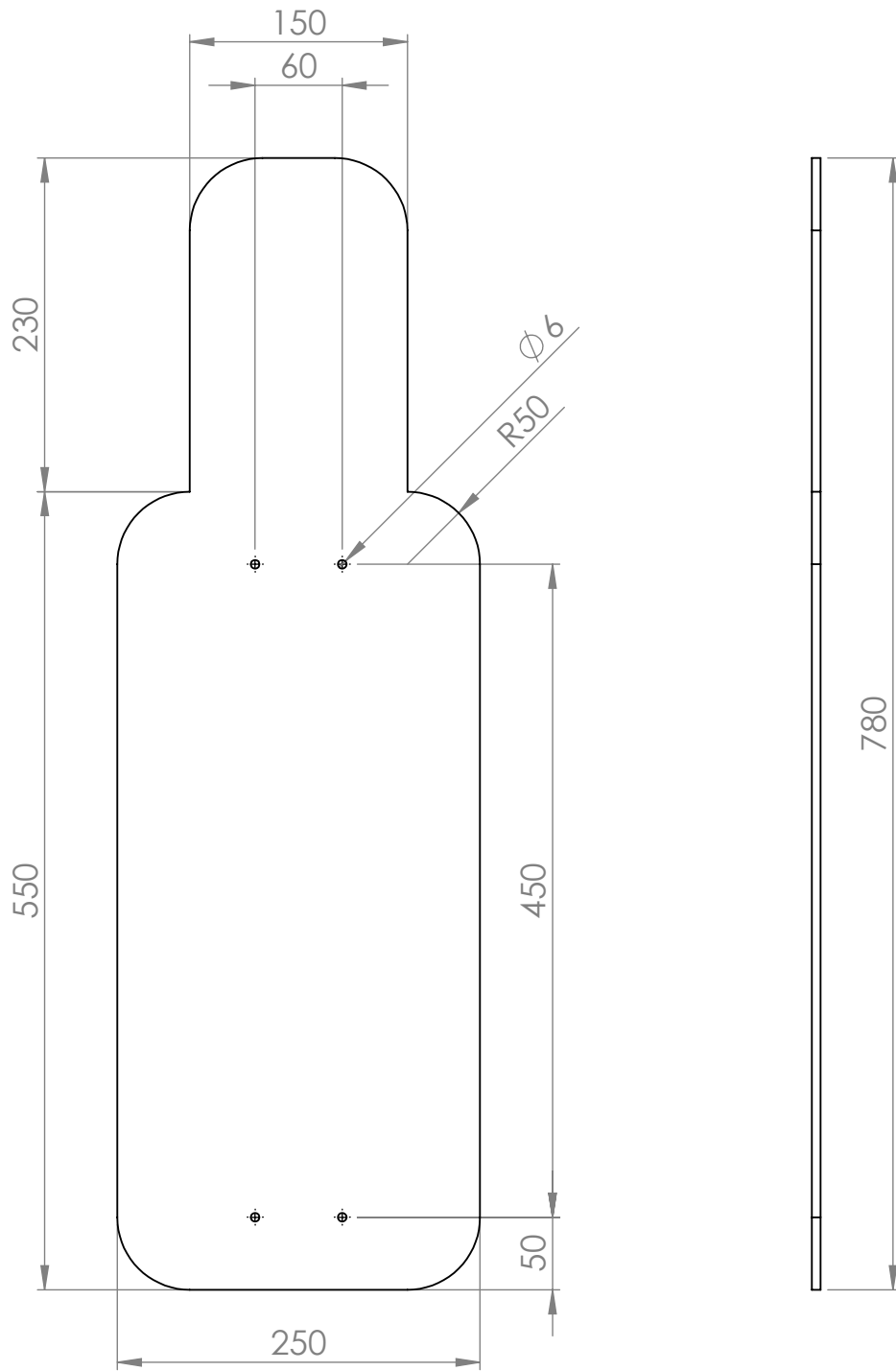


Chapa 10mm Acero S235JR
Tolerancias generales de 0.1mm salvo especificación

2	Separador		4		
MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES

DISEÑO DE UN EXOESQUELETO: TORSO

Nombre y Apellidos	Fecha	Autores			ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
	JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de León			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA: 1:1	TITULO DEL PLANO SEPARADOR			Nº P.: 1.3.2	

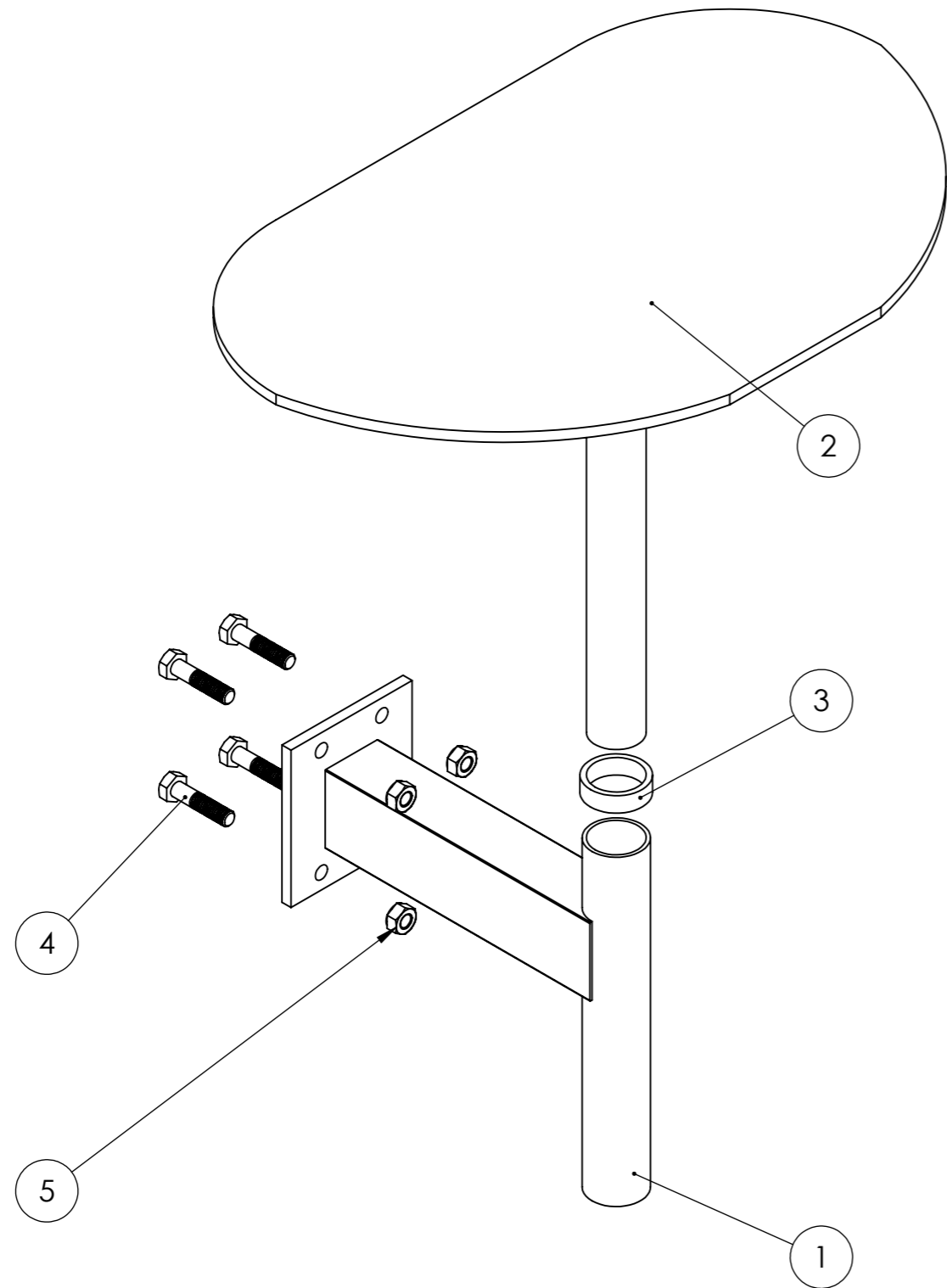


Chapa 6mm Acero S235JR
Tolerancias generales de 0.1mm salvo especificación

8	Apoyo espalda		1		
MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES

DISEÑO DE UN EXOESQUELETO: TORSO

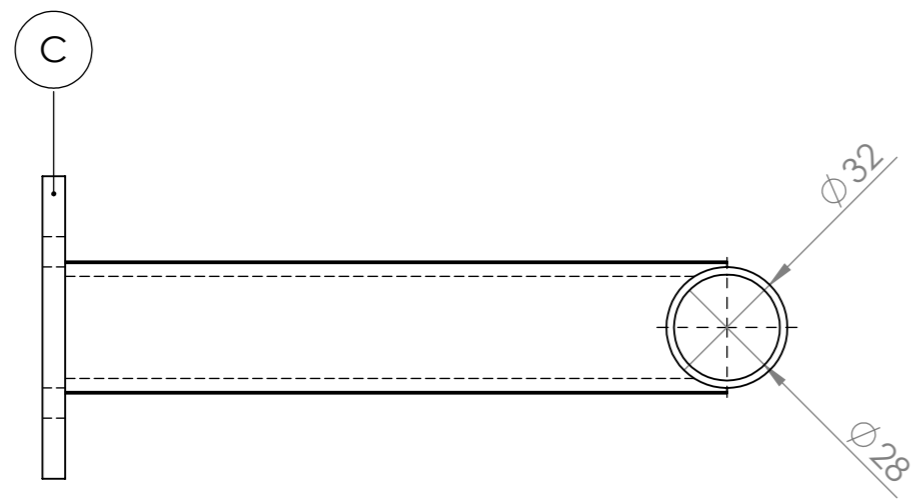
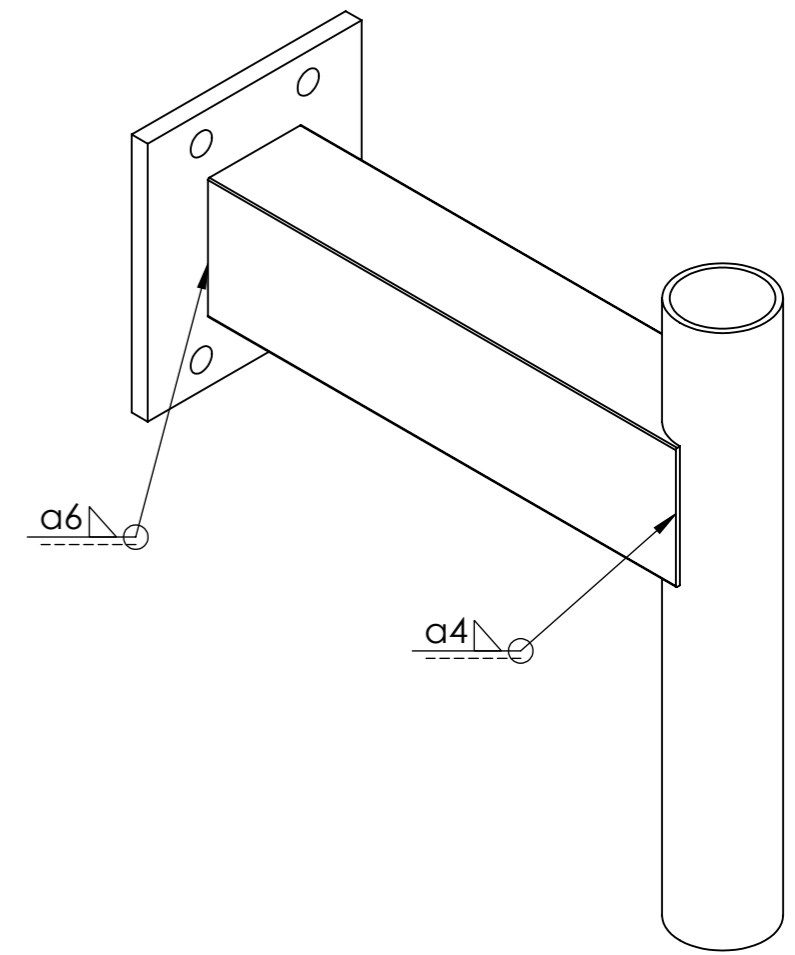
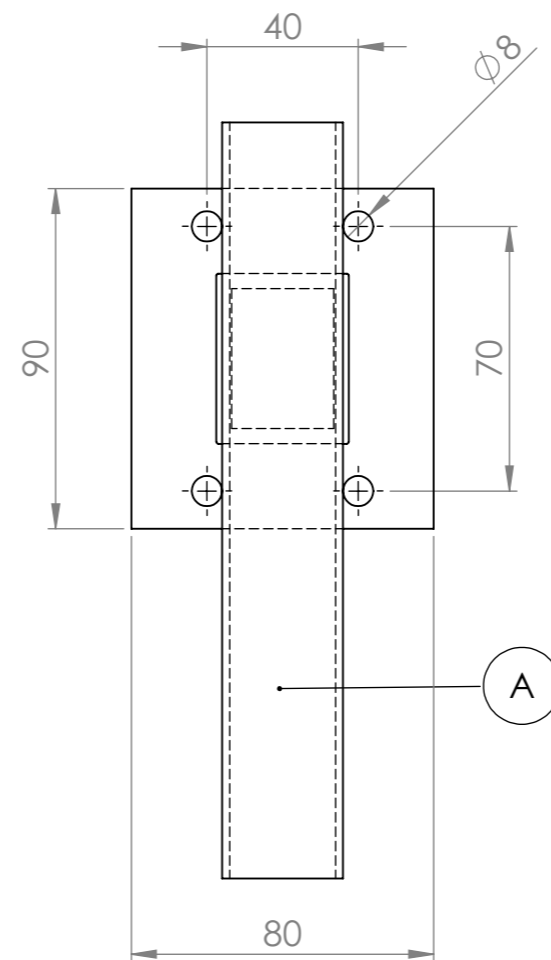
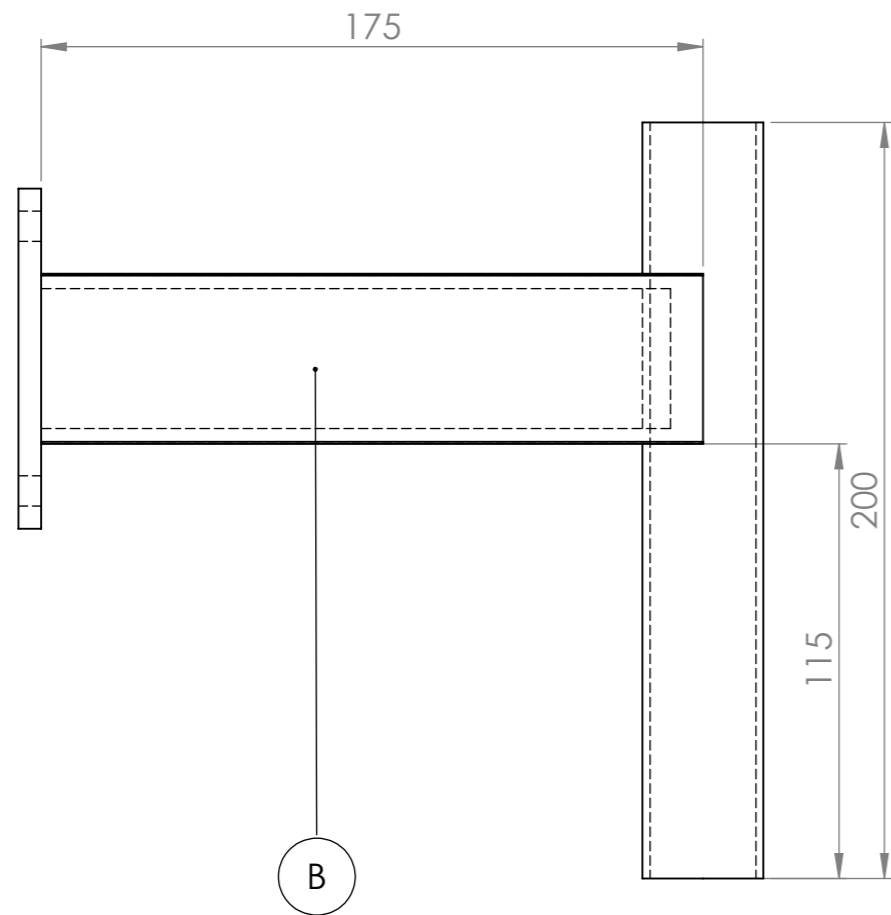
Nombre y Apellidos	Fecha	Autores			ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
	JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de Leon			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA: 1:5	TITULO DEL PLANO APOYO ESPALDA			Nº P.: 1.3.3	



1	Soporte fija		1		
2	Sillín		1		
3	Abrazadera		1		Cierre rápido sillín 31.8 mm
4	Tornillo Hexagonal M8x35x22-8.8	ISO 4015	4		
5	Tuerca Hexagonal M8-8.8	ISO 4032	4		
MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES

DISEÑO DE UN EXOSQUELETO: TORSO

Nombre y Apellidos	Fecha	Autores		ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Id. s. normas	JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de León		
	UNE-EN-DIN			
ESCALA: 1:3	TITULO DEL PLANO SUBCONJUNTO ESTRUCTURA DEL ASIENTO		Nº P.: 1.4	

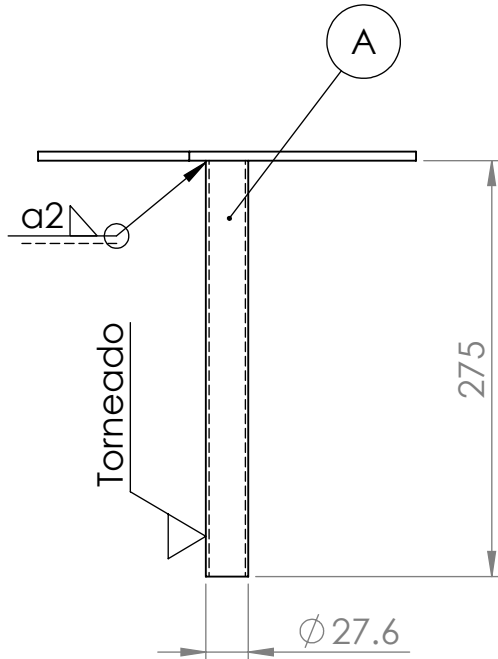
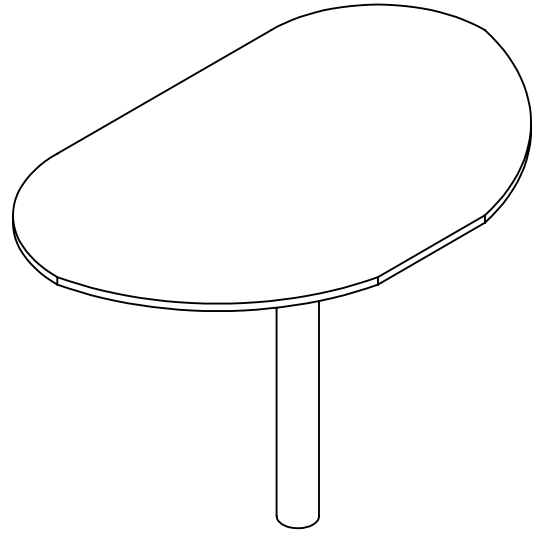
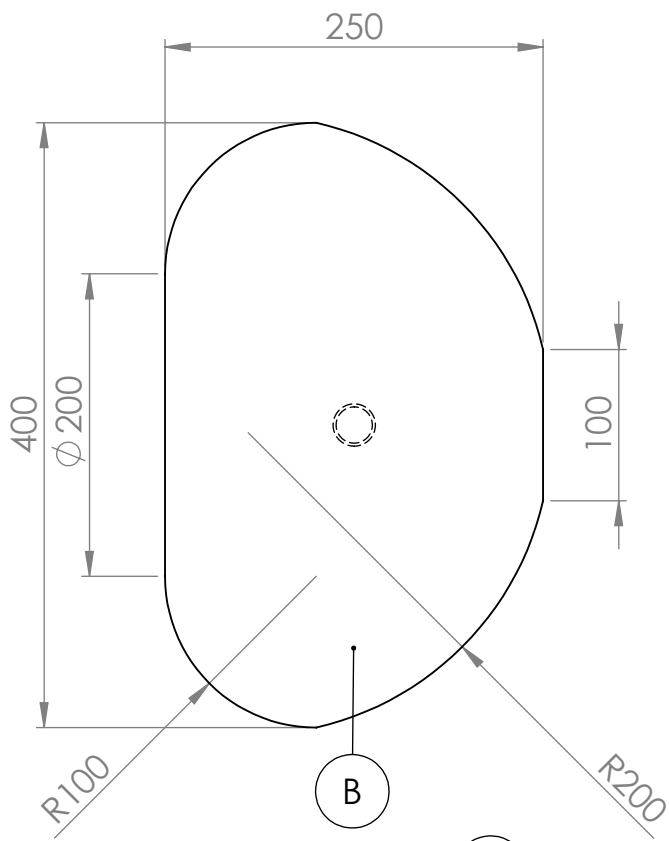


A. Perfil Tubular 32x2mm DIN 2395 Acero S275JR
 B. Perfil Tubular 45x35x4mm DIN2395 Acero S275JR
 C. Chapa 6mm Acero S235JR
 Tolerancias generales de 0.1mm salvo especificación

MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES
1	Soporte fija		1		

DISEÑO DE UN EXOSQUELETO: TORSO

Nombre y Apellidos	Fecha	Autores			ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
	JUL-2015	Moisés Jiménez	Fabián de Leon		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA: 1:2	TITULO DEL PLANO SOPORTE TIJA			Nº P.: 1.4.1	

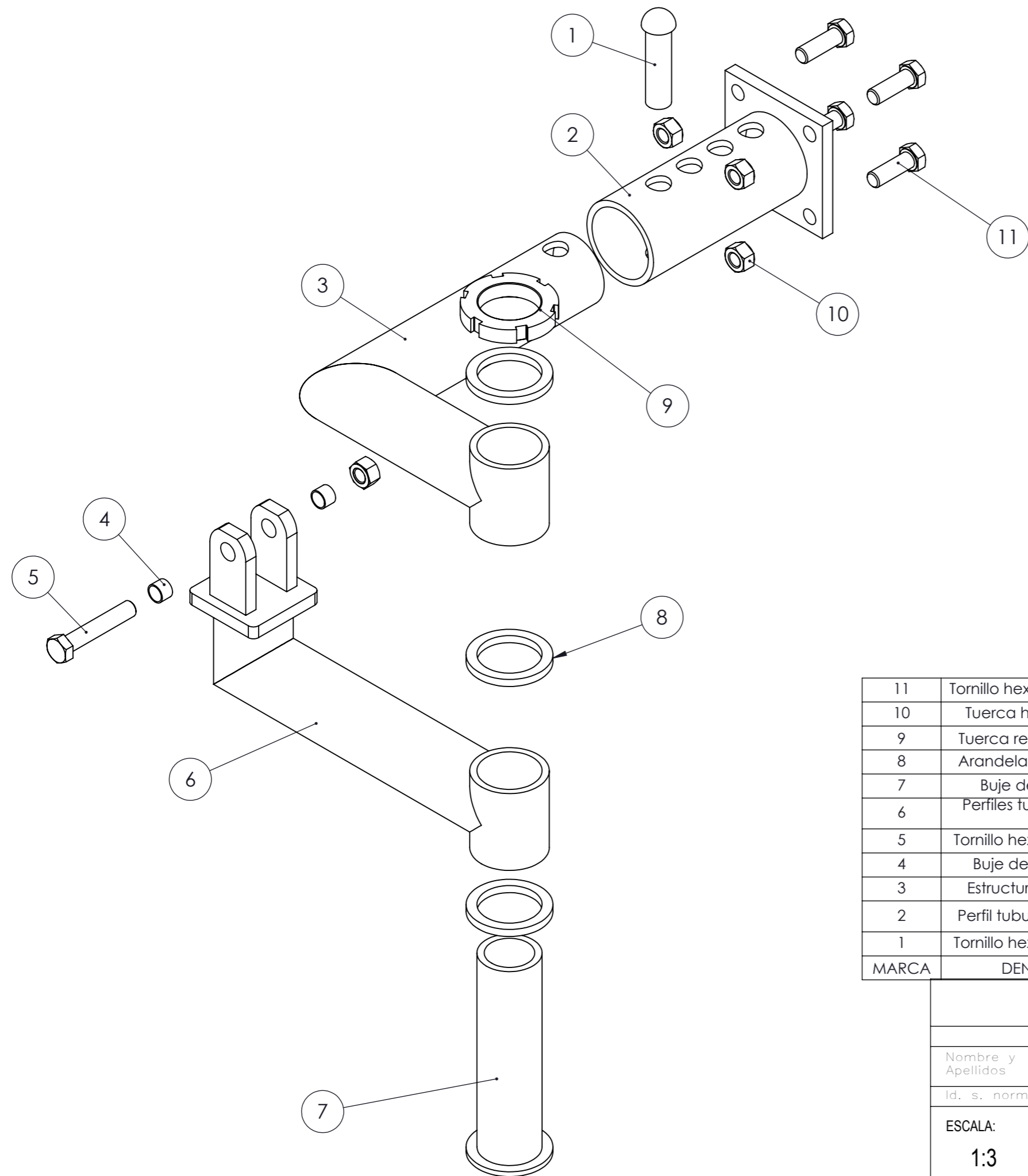


A. Perfil Tubular 28x2mm DIN 2395 Acero S275JR
 B. Chapa 6mm Acero S235JR
 Tolerancias generales de 0.1mm salvo especificación

2	Sillín		1		
MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES

DISEÑO DE UN EXOESQUELETO: TORSO

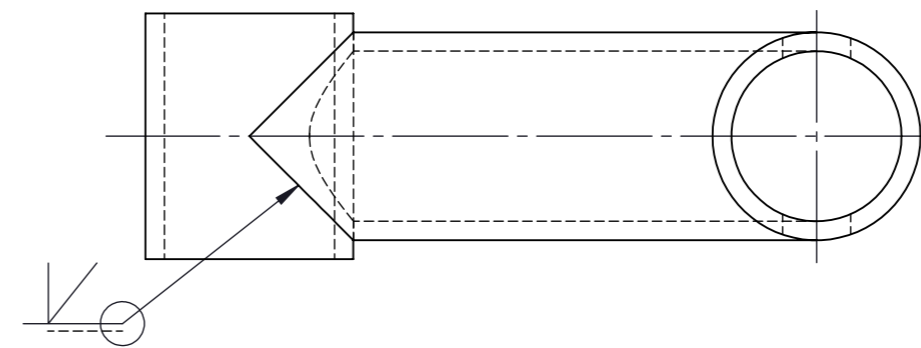
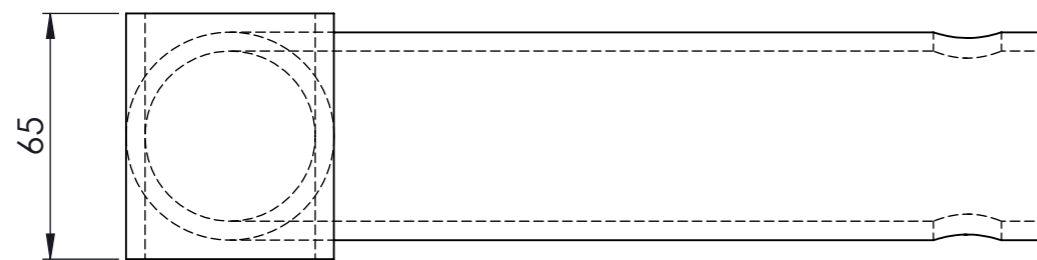
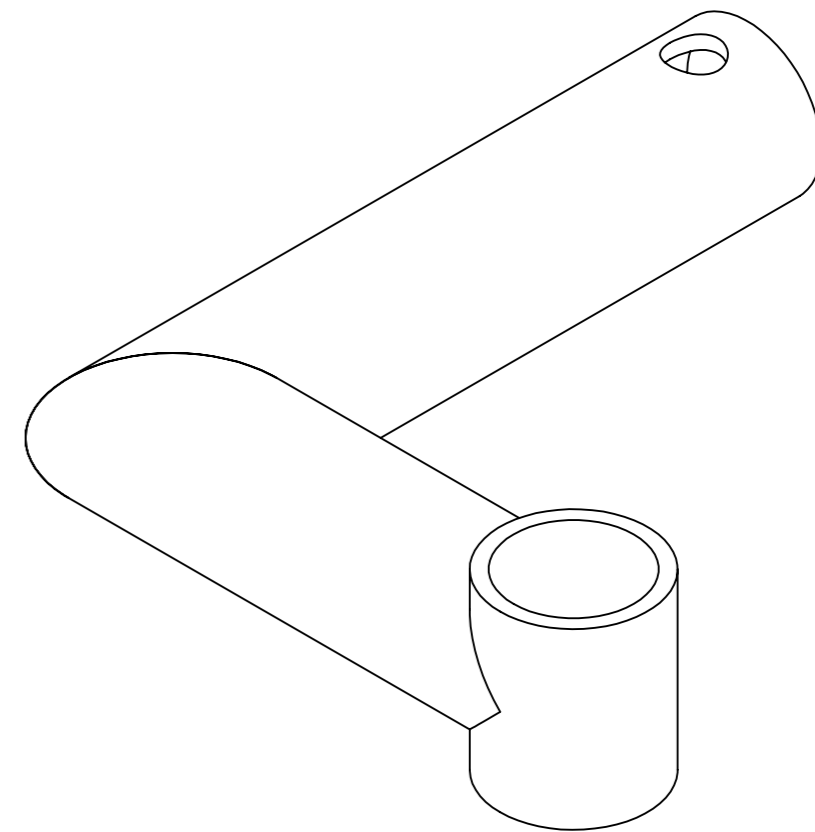
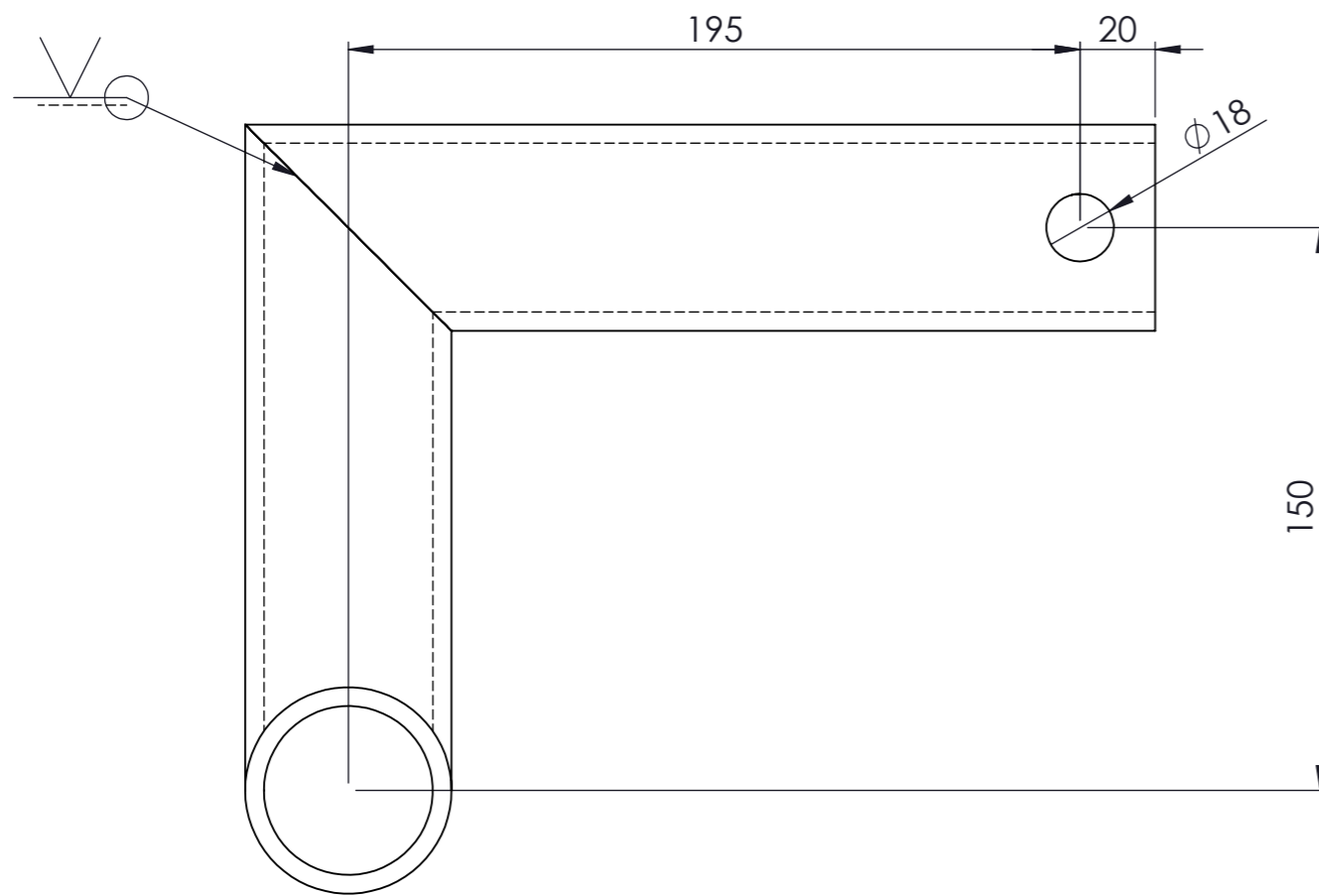
Nombre y Apellidos	Fecha	Autores			ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Id. s. normas	JUL-2015	Moisés Jiménez	Fabián de León		
		UNE-EN-DIN			
ESCALA: 1:5	TITULO DEL PLANO SILLÍN			Nº P.: 1.4.2	



11	Tornillo hexagonal M12x35-10.9	DIN 7990	4		
10	Tuerca hexagonal M12-8.8	ISO 4032	5		
9	Tuerca redonda M45x1,5-4.8	DIN 1804	1		
8	Arandela plana diámetro 45	ISO 8738	3		
7	Buje de bronce y tapa		1	Bronce	
6	Perfiles tubulares y horquilla soporte		1		
5	Tornillo hexagonal M12x65-4.8	DIN 7990	1		
4	Buje de bronce horquilla	DIN 1494	2	Bronce	
3	Estructura retráctil soporte		1	E-355	
2	Perfil tubular y placa soporte		1		Igual a Perfil tubular y placa hombro
1	Tornillo hexagonal M18x65-6.8	DIN 7990	1		
MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES

DISEÑO DE UN EXOSQUELETO: TORSO

Nombre y Apellidos	Fecha	Autor		ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Id. s. normas	JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de León		
ESCALA:	TITULO DEL PLANO		Nº P.: 1.5	
1:3	SUBCONJUNTO ESTRUCTURA DE SOPORTE			

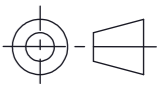


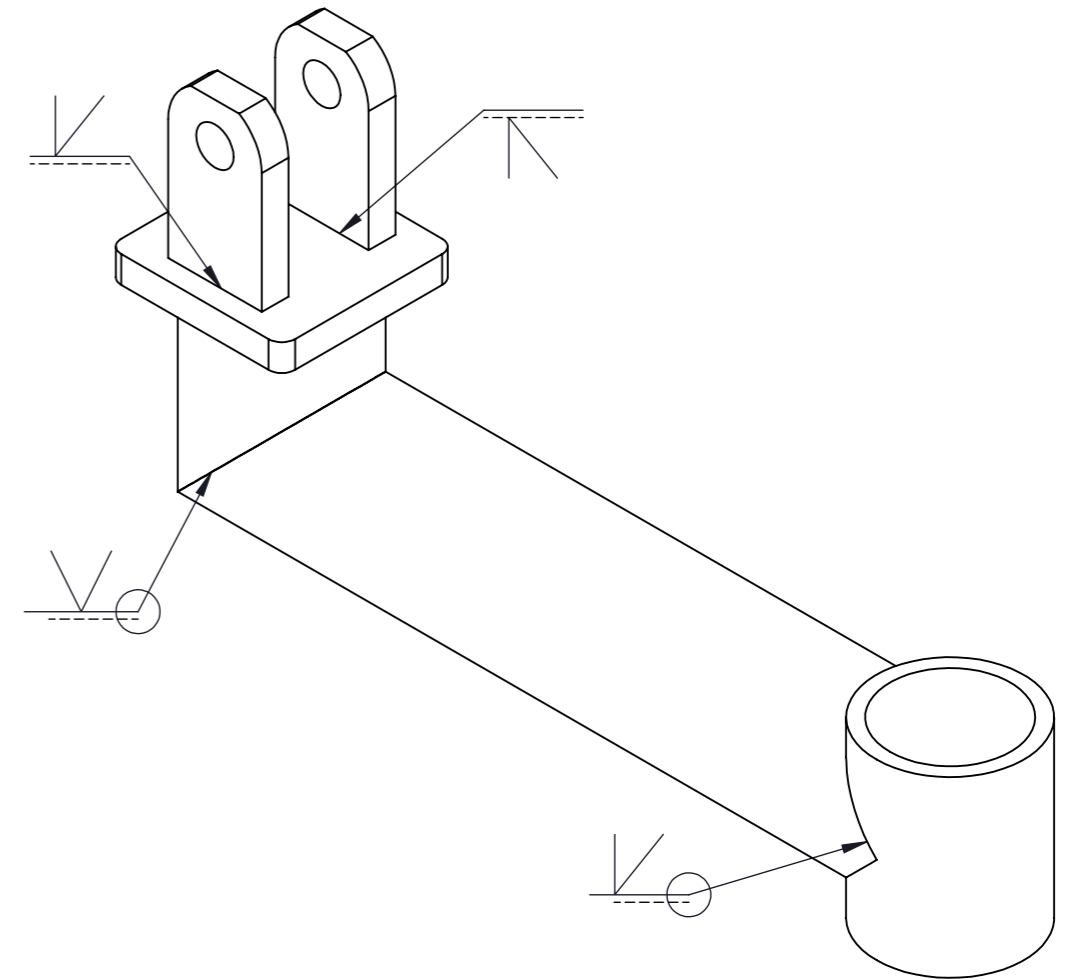
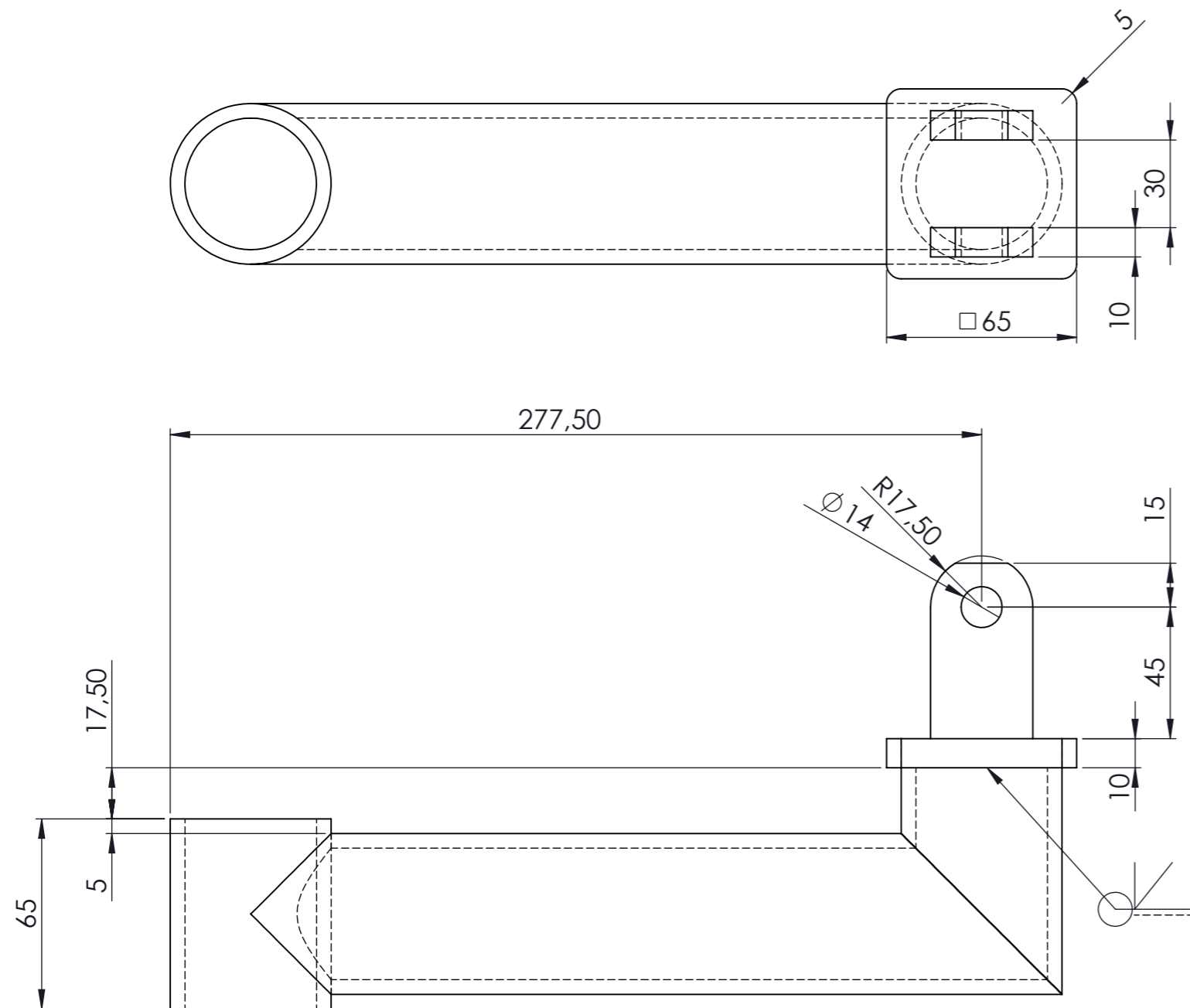
Perfiles tubulares 55x5 mm
Tolerancias generales de 0,1 mm salvo especificación

3	Estructura retráctil soporte	DIN 2391	1	E-355	
MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES

DISEÑO DE UN EXOESQUELETO: TORSO

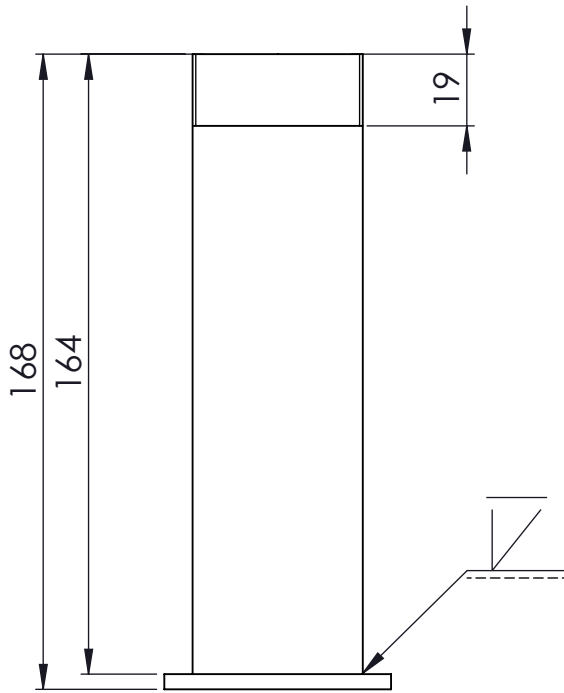
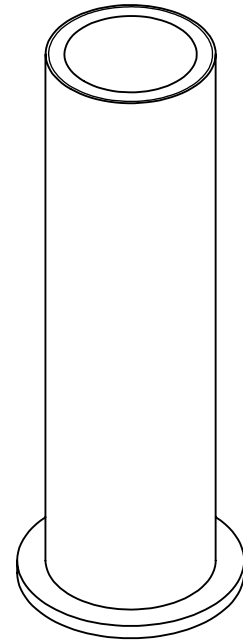
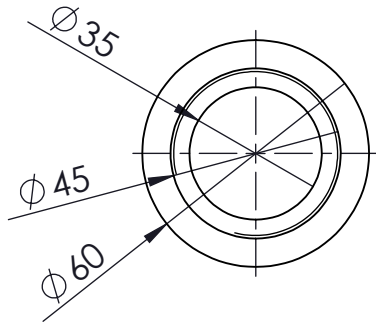
Nombre y Apellidos	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Id. s. normas	JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de León		

ESCALA: 1:2	TITULO DEL PLANO ESTRUCTURA RETRÁCTIL SOPORTE	Nº P.: 1.5.1	
----------------	--	--------------	---




Perfiles tubulares 55x5 mm DIN 2391, Material E-355
 Horquilla de acero AISI 1020
 Tolerancias generales de 0,1 mm salvo especificación

6	Perfiles tubulares y horquilla soporte		1		
MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES
DISEÑO DE UN EXOSQUELETO: TORSO					
Nombre y Apellidos	Fecha	Autor	 ULL Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Id. s. normas	JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de León			
ESCALA:	TITULO DEL PLANO		Nº P.:		
1:2	PERFILES TUBULARES Y HORQUILLA SOPORTE		1.5.2		



Tolerancias generales de 0,1 mm salvo especificación

MARCA	DENOMINACIÓN	NORMA	Nº PIEZAS	MATERIAL	OBSERVACIONES
7	Buje de bronce y tapa		1	Bronce	
DISEÑO DE UN EXOESQUELETO: TORSO					
Nombre y Apellidos	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
	JUL-2015	Moisés Jiménez Fabián de León			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN				
ESCALA: 1:2	TITULO DEL PLANO BUJE DE BRONCE Y TAPA			Nº P.: 1.5.3	

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

PLIEGO DE CONDICIONES

TRABAJO DE FIN DE GRADO

TÍTULO

DISEÑO DE UN EXOESQUELETO: TORSO

AUTORES

Fabián de León Mazariegos

Moisés Jiménez Rodríguez

TUTOR

Carmelo Militello Militello

Índice Pliego de Condiciones

1. Pliego de condiciones.....	4
1.2. Condiciones generales	4
1.2.1. Condiciones de uso general	4
1.3. Condiciones técnicas.....	5
1.3.1. Acabados superficiales	5
1.3.2. Montaje.....	5
1.3.3. Mantenimiento.....	8
2. Índice de Tablas	9

1. Pliego de condiciones

El presente pliego de condiciones hace referencia al diseño y fabricación de un prototipo de exoesqueleto mecánico accionado eléctricamente mediante actuadores lineales eléctricos. Al tratarse de un prototipo, el pliego de condiciones contemplará únicamente aquellas cuestiones relevantes para la correcta fabricación y montaje del mismo, eludiendo así cualquier tipo de aspecto económico, normativo, legal o cualquier otra índole que se aleje de las condiciones técnicas.

Cabe mencionar que el presente pliego de condiciones está enfocado al proyecto del torso del exoesqueleto. Los pliegos de condiciones referentes al resto de partes del mismo están recogidos en cada uno de los proyectos correspondientes.

1.2. Condiciones generales

Cabe indicar como condición general para el presente proyecto que, con respecto a los componentes comerciales, para todo lo referente a estos se tendrán en cuenta las indicaciones técnicas y manuales suministrados por los fabricantes. Queda excluido del presente pliego, todas aquellas condiciones individuales de estos componentes comerciales.

1.2.1. Condiciones de uso general

En lo que respecta al uso del exoesqueleto, este estará limitado a usuarios con un peso inferior a 100 kg, siendo este el límite. El exoesqueleto se ha diseñado con una determinada adaptabilidad de sus medidas al usuario, abarcando los valores más representativos de la población con edad de trabajar. No obstante, puede darse el caso en el que un usuario con unas dimensiones desproporcionadas no pueda hacer un correcto uso del exoesqueleto debido a sus propias características físicas. Estas medidas se describen en el estudio antropométrico del presente proyecto.

Cabe mencionar que, para la correcta adaptabilidad del exoesqueleto al operario, a la hora de modificar el ancho de la espalda del primero, se deberá de regular paralelamente la estructura del hombro y la estructura soporte del actuador. Si no se realiza la

adaptación considerando esta condición, no se producirá el correcto funcionamiento del exoesqueleto, provocando incluso la aparición de esfuerzos no contemplados en la estructura que podrían comprometer la resistencia de la misma.

El exoesqueleto ha sido diseñado para trabajar normalmente con 25 kg en cada brazo, aunque esta carga podría aumentar hasta un máximo de 45 kg para cada uno. La seguridad y resistencia estructural del exoesqueleto no se garantizan una vez se supere este límite de carga de uso. Igualmente se verían comprometidos tanto la seguridad del operario como el correcto funcionamiento del exoesqueleto.

El usuario deberá de prestar mucha atención en los giros y pasos estrechos en los que se puedan producir colisiones u golpes, puesto que aunque la velocidad que puede desarrollar el exoesqueleto es relativamente baja, se podrían producir daños en la estructura del exoesqueleto o incluso en el propio operario. En el caso que se deba transportar una carga en altura, se recomienda no producir cambios de movimientos bruscos ya que estos podrían conllevar a una pérdida de la estabilidad del exoesqueleto

1.3. Condiciones técnicas

1.3.1. Acabados superficiales

Será condición indispensable en el mecanizado suprimir las aristas vivas mediante biselado o achaflanado, pues el usuario puede llegar a entrar en contacto con estos elementos de la estructura del exoesqueleto.

1.3.2. Montaje

Para el correcto montaje del conjunto del exoesqueleto, en lo que respecta al torso del exoesqueleto, se han de definir una serie de especificaciones y directrices de montaje, de las cuales la gran mayoría se definirán mediante planos de conjunto con vistas explosionadas y el resto se definen a continuación. Siempre que no se defina ningún tipo de condición de montaje, se dará por sentado que el orden de montaje no

tiene transcendencia para el correcto ensamble de todos los componentes del exoesqueleto.

Para realizar el montaje de la zona inferior del torso, donde las piezas involucradas son la placa metálica de unión con los soportes móviles de la espalda, el perfil de la columna de la espalda y la estructura de soporte del actuador, se tendrán en cuenta un determinado orden en el ensamble de los diferentes componentes.

En primer lugar, se realizará la unión soldada de la placa metálica al perfil de la columna de la espalda. A continuación, se unirán mediante tornillos, los soportes móviles de la espalda a la placa unida a la columna de la espalda instalando entre esta placa y los soportes, los separadores necesarios para la correcta compatibilidad de componentes del entorno. Una vez se han atornillado todos los soportes móviles a la placa metálica, sería aconsejable unir el conjunto de la columna y la placa metálica con los soportes móviles a las guías lineales de la base, y paralelamente el actuador de la base a la oreja de sujeción localizada en la espalda. De este modo, al no estar instalados los brazos ni demás estructuras acopladas a la columna, este montaje sería más cómodo y sencillo.

Con los soportes móviles perfectamente atornillados a la placa metálica, se dispone el turno a la unión atornillada de la estructura soporte del actuador a la columna.

Este orden tan peculiar surge de la dificultad que se presenta al intentar realizar la unión atornillada de los soportes móviles a la placa metálica cuando previamente se ha atornillado la estructura soporte del actuador a la espalda. La escasez de espacio entre los componentes descritos es el principal motivo de esta condición de montaje y se describe más detalladamente en la memoria del presente proyecto.

En la siguiente tabla se muestra el orden de los diferentes componentes.

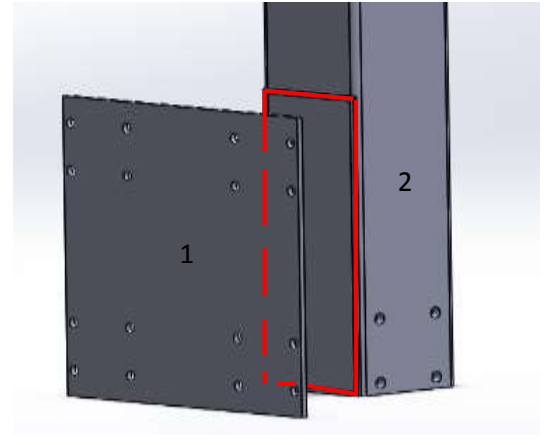
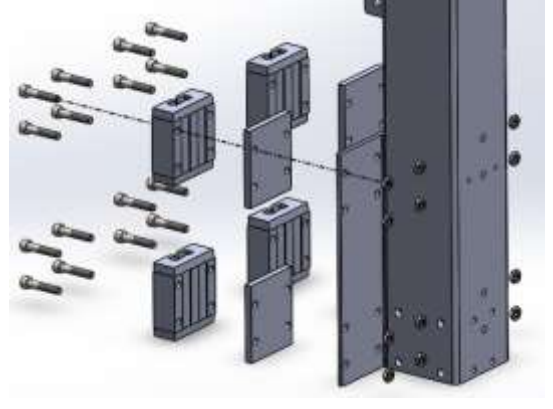
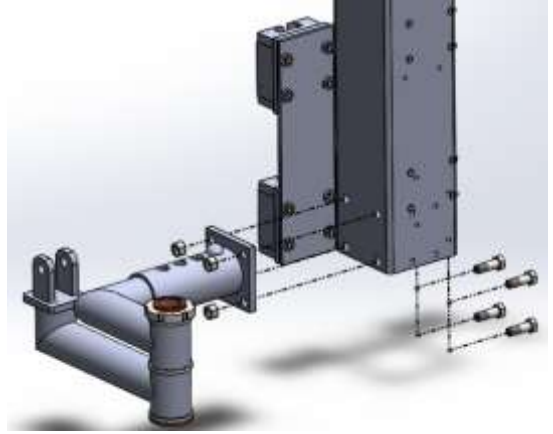
Imagen del montaje	Paso
	<p>Paso 1: Se realiza una soldadura de unión entre la placa metálica(1) y la columna(2)</p>
	<p>Paso 2: Se realiza la unión atornillada de los soportes móviles con la placa de sujeción y con la instalación de los separadores entre ambos</p>
	<p>Paso 3: Se realiza la unión atornillada de la estructura soporte del actuador a la columna</p>

Tabla 1. Pasos de montaje de la zona inferior del torso

1.3.3. Mantenimiento

El mantenimiento se conoce como las labores para preservar el buen estado y fomentar la durabilidad del conjunto. Se entiende que el usuario deber ser el encargado de realizar el mantenimiento, ya que es el primer interesado en el buen funcionamiento del exoesqueleto. Seguidamente se enumeran algunas de las actuaciones recomendadas para disponer del exoesqueleto en cuestión en perfectas condiciones.

- Se recomienda revisar periódicamente las articulaciones, ya que suelen recoger mucho polvo y suciedad propia de los lugares de trabajo que dificultan el movimiento de la articulación. Igualmente la revisión de las uniones atornilladas, puesto que frente a las vibraciones producidas por el uso del exoesqueleto, éstas podrían perder el apriete necesario para una unión firme y resistente.
- Se recomienda la aplicación de lubricante industrial en los componentes deslizantes del sistema, como la tija del asiento o las estructuras del hombro y del soporte del actuador. Con ello no solo se contribuye a la conservación de ambas piezas, sino que se pueden evitar ruidos molestos producidos por el roce entre metales o que se gripen.
- Para el correcto mantenimiento de los elementos comerciales existentes en el exoesqueleto, se recurrirá a los catálogos y manuales suministrados por los fabricantes de dicho componentes ya que en estos, se encuentran todas las acciones de mantenimiento necesarias para estos componentes así como sus limitaciones y condiciones de uso.

2. Índice de Tablas

Tabla 1. Pasos de montaje de la zona inferior del torso	7
---	---

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

PRESUPUESTO

TRABAJO DE FIN DE GRADO

TÍTULO

DISEÑO DE UN EXOESQUELETO: TORSO

AUTORES

Fabián de León Mazariegos

Moisés Jiménez Rodríguez

TUTOR

Carmelo Militello Militello

Índice presupuesto

1. Subconjunto Estructura del Hombro	4
2. Subconjunto Estructura de Soporte	5
3. Subconjunto Estructura de la Columna	5
4. Subconjunto Estructura del Asiento	6
5. Actuador Lineal Eléctrico	6
6. Montaje.....	6
7. Cuantía Total	7

1. Subconjunto Estructura del Hombro

	Cantidad	Material [€]	Precio Fabricación [€]	Horas Fabricación [h]	Precio [€]
Tornillo hexagonal M18x65, 6.8 DIN 7990	1	1,05			1,05
Perfil tubular y placa hombro	1	32,24	35	2	102,24
Estructura retráctil hombro	1	22,79	35	3,5	145,29
Cilindro giratorio	1	0,54	35	3	105,54
Perno hombro	1	0,4	35	1	35,4
Tornillo avellanado M6x25 ISO 7046-1, 5.8	2	0,4			0,8
Oreja desmontable	1	0,2	35	1	35,2
Buje de bronce 1 DIN 1494	1	0,65			0,65
Arandela de fijación 11x1 DIN 471	2	0,03			0,06
Casquillo de bronce	2	1			2
Buje de bronce 2	2	0,7	35	0,3	22,4
Arandela plana \varnothing 12 ISO 8738	2	0,05			0,1
Tuerca hexagonal M12 ISO 4032, 8.8	6	0,0585			0,351
Tornillo hexagonal M12x35 DIN 7990, 8.8	4	0,801			3,204
				Subtotal	454,29

2. Subconjunto Estructura de Soporte

	Cantidad	Material [€]	Precio Fabricación [€]	Horas Fabricación [h]	Precio [€]
Tornillo hexagonal M18x65 DIN 7990	1	1,05			1,05
Perfil tubular y placa soporte	1	32,24	35	2	102,24
Estructura retráctil soporte	1	22,79	35	2	92,79
Buje de bronce horquilla DIN 1494	2	0,5			1
Tornillo hexagonal M12x65 DIN 7990, 4.8	1	1,22			1,22
Perfiles tubulares y horquilla soporte	1	22,79	35	3	127,79
Buje de bronce y tapa	1	0,4	35	1	35,4
Arandela plana ϕ 45 ISO 8738	3	0,1			0,3
Tuerca redonda M45x1,5 DIN 1804, 4.8	1	7,2			7,2
Tuerca hexagonal M12 ISO 4032, 8.8	5	0,0585			0,2925
Tornillo hexagonal M12x35 DIN 7990, 10.9	4	0,90			3,6
				Subtotal	372,88

3. Subconjunto Estructura de la Columna

	Cantidad	Material [€]	Precio Fabricación [€]	Horas Fabricación [h]	Precio [€]
Columna	1	50	35	6,5	277,5
Separadores	4	0,7	35	0,75	107,8
Apoyo espalda	1	9,8	35	2,5	97,3
Remache 6x25-St-A-16	4	0,13			0,52
Tornillo hexagonal M12x55,DIN 7990, 4.8	1	1,22			1,22
Tuerca hexagonal M12, ISO 4032, 8.8	1	0,0585			0,0585
Tornillo hexagonal M10X50X32S, ISO 4762,	16	1,2			19,2
Tuerca hexagonal M10-N, ISO 4036,	16	0,04			0,64
Conjunto lineal IGUS Drylin T, TK-01-30	2	116			232
				Subtotal	736,24

4. Subconjunto Estructura del Asiento

	Cantidad	Material [€]	Precio Fabricación [€]	Horas Fabricación [h]	Precio [€]
Soporte tija	1	25	35	2,25	103,75
Sillín	1	10	35	3	115
Cierre rápido sillín 31,8mm	1	5,95			5,95
Tornillo hexagonal M8x35x22, ISO 4015, 8.8	4	0,96			3,84
Tuerca hexagonal M8, ISO 4032, 8.8	4	0,052			0,208
Subtotal					228,75

5. Actuador Lineal Eléctrico

	Cantidad	Precio Unitario [€]	Precio [€]
Actuador Lineal ALI4/-/M23/24DC	2	735	1470
Subtotal			1470

6. Montaje

	Cantidad	Precio Montaje [€]	Horas Montaje [h]	Precio [€]
Subconjunto Estructura del Hombro	2	35	0,75	52,5
Subconjunto Estructura de Soporte	2	35	0,5	35
Subconjunto Estructura de la Columna	1	35	1	35
Subconjunto Estructura del Asiento	1	35	0,5	17,5
Montaje del Conjunto	1	35	3	105
Subtotal				245

7. Cuantía Total

	Cantidad	Precio Unitario [€]	Precio [€]
Subconjunto Estructura del Hombro	2	454,29	908,58
Subconjunto Estructura de Soporte	2	372,88	745,76
Subconjunto Estructura de la Columna	1	736,24	736,28
Subconjunto Estructura del Asiento	1	228,75	228,75
Actuador Lineal Eléctrico	2	735	1470
Montaje	1	245	245
Total del Presupuesto			4334,33

