



**Escuela Superior  
de Ingeniería y Tecnología**  
Universidad de La Laguna

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

# **TRABAJO FIN DE GRADO**

**DISEÑO DE EXOESQUELETO SUPERIOR PARA  
PREVENIR SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO**

**Alumno:**

**Antonio González Armas**

**Tutores:**

**Inmaculada Sandra Fumero Dios**

**Isabel Martín Mateos**

**La Laguna, marzo de 2020**

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

# **ÍNDICE GENERAL**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**DISEÑO DE EXOESQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR  
SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO**

**Antonio González Armas**

# INDICE MEMORIA

1. ABSTRACT.....	2
2. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO.....	3
3. OBJETO .....	4
4. ALCANCE .....	5
5. ESTADO DEL ARTE.....	5
5.1. NORMATIVA VIGENTE ESPECÍFICA.....	6
5.2. EXOESQUELETOS COMERCIALES .....	8
5.2.1. Exoesqueleto Activo .....	8
6. NORMAS Y REFERENCIAS .....	14
6.1. Disposiciones legales y normas aplicadas.....	14
6.2. Bibliografía y Webgrafía .....	17
6.3. Programas de cálculo .....	20
7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES.....	20
7.1. REQUISITOS DE DISEÑO .....	20
7.2. SOLUCIONES PROPUESTAS.....	20
8. SOLUCIONES ANALIZADAS .....	24
8.1. Exoesqueleto superior con barra deslizable.....	24
8.2. Exoesqueleto superior con resorte.....	31
8.3. Conclusiones Soluciones Exoesqueletos.....	37
9. CONCLUSIONS .....	43

# INDICE ANEXO I. CÁLCULOS

1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. CÁLCULOS FUERZAS BRAZO .....	3
.....	5
2.1. Brazo en posición horizontal con ángulo recto.....	5
2.2. Brazo en una posición intermedia.....	8
3. CÁLCULOS EXOESQUELETO “LEVITATE” .....	9
3.1. Introducción .....	9
3.2. Exoesqueleto “Levitare” en posición horizontal .....	10
3.3. Exoesqueleto “Levitare” en una posición intermedia.....	13
3.4. Exoesqueleto “Levitare” por partes en posición horizontal .....	14
4. ESTUDIO DEFORMACIÓN DE LA TIBIA.....	16
5. OPCIONES DE DISEÑO EXOESQUELETO .....	18
5.1. Opción 1.1. Barra deslizante (30°).....	18
5.2. Opción 1.2. Barra deslizante (45°).....	21
5.3. Opción 2. Resorte de torsión (90°).....	25
6. ESTUDIO DE FLEXIÓN.....	28
7. ESTUDIO DE PANDEO .....	31
8. DIAGRAMAS MOMENTO FLECTOR Y FUERZA CORTANTE.....	34

## INDICE ANEXO II. CATÁLOGOS

1. RODAMIENTOS LINEALES COMPACTOS.....	2
2. RESORTES DE TORSIÓN.....	4
3. RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLAS ACERO INOXIDABLE (SKF) .....	7

## INDICE ANEXO III. ESTUDIO ERGONÓMICO

1. INTRODUCCIÓN .....	2
2. DATOS ANTROPOMÉTRICOS .....	3
2.1. ANTROPOMETRÍA ESTÁTICA .....	4
2.2. ANTROPOMETRÍA DINÁMICA .....	4
3. ANÁLISIS BIOMECÁNICO .....	5
3.1. MOVIMIENTOS DE LOS MIEMBROS DEL CUERPO .....	7
3.2. ARTICULACIONES .....	8
4. ACCIDENTES DE TRABAJO.....	11
5. TRASTORNOS MUSCULO ESQUELÉTICOS .....	14
5.1. INTRODUCCIÓN.....	14
5.2. Metodología REBA.....	16

## INDICE PLANOS

1. Plano de Conjunto exoesqueleto resorte explosionado .....	1
2. Plano barras brazos .....	2
3. Plano barra vertical derecho .....	3
4. Plano barra vertical izquierdo.....	4
5. Plano rodamiento con barra.....	5
6. Plano sujeción espalda .....	6
7. Plano de conjunto exoesqueleto barra deslizable explosionado .....	7
8. Plano barra brazo derecho .....	8
9. Plano barra vertical izquierdo.....	9
10. Plano barra deslizable .....	10
11. Plano rodamiento brazo .....	11
12. Plano barra brazo izquierdo .....	12
13. Plano barra vertical derecho.....	13

## **INDICE PRESUPUESTO**

<b>1. EXOESQUELETO PASIVO SUPERIOR DE ACERO ALEADO CON RESORTE .....</b>	<b>2</b>
<b>2. EXOESQUELETO PASIVO SUPERIOR DE ALUMINIO CON RESORTE.....</b>	<b>5</b>
<b>3. EXOESQUELETO PASIVO SUPERIOR DE ACERO ALEADO CON BARRA DESLIZABLE .....</b>	<b>8</b>
<b>4. EXOESQUELETO PASIVO SUPERIOR DE ALUMINIO CON BARRA DESLIZABLE .....</b>	<b>11</b>



**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

# **MEMORIA**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**DISEÑO DE EXOESQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR  
SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO**

**Antonio González Armas**

## INDICE

<b>1. ABSTRACT</b> .....	2
<b>2. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO</b> .....	3
<b>3. OBJETO</b> .....	4
<b>4. ALCANCE</b> .....	5
<b>5. ESTADO DEL ARTE</b> .....	5
<b>5.1. NORMATIVA VIGENTE ESPECÍFICA</b> .....	6
<b>5.2. EXOESQUELETOS COMERCIALES</b> .....	8
<b>5.2.1. Exoesqueleto Activo</b> .....	8
<b>6. NORMAS Y REFERENCIAS</b> .....	14
<b>6.1. Disposiciones legales y normas aplicadas</b> .....	14
<b>6.2. Bibliografía y Webgrafía</b> .....	17
<b>6.3. Programas de cálculo</b> .....	20
<b>7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES</b> .....	20
<b>7.1. REQUISITOS DE DISEÑO</b> .....	20
<b>7.2. SOLUCIONES PROPUESTAS</b> .....	20
<b>8. SOLUCIONES ANALIZADAS</b> .....	24
<b>8.1. Exoesqueleto superior con barra deslizable</b> .....	24
<b>8.2. Exoesqueleto superior con resorte</b> .....	31
<b>8.3. Conclusiones Soluciones Exoesqueletos</b> .....	37
<b>9. CONCLUSIONS</b> .....	43

## 1. ABSTRACT

The importance of worker's health, have made the beginning of study of the exoskeletons. This Project presents an exoskeleton design which goes designed for reduce the shoulder joint effort, which presents several risk in some Jobs. In this work, have been studied a "Levitate" exoskeleton improvement, because many Jobs where the worker stay with amrs above the heart level for a long time, present an high risk percentage of being injured.

For the exoskeleton design, many studies have been done. On the one hand, has been studied the arm's strenghts. Once this has been calculated, we have to design something to reduce the effort. Several ideas and opinions gave two designs stipulated in the Project. Looking for the best ergonomic system for the person who will use it, we had to search a simple method, which could be introduced in "Levitate" exoskeleton. The first studied improvement has been to put a diagonal slide bar for reduce the shoulder effort. The second one, has been to put a spring in the middle of two "Levitate" exoskeleton bars. Both of them, are improvements of this exoskeleton, but we have already studied a posible injury in the worker's legs, studying the tibia rupture, the horizontal bar flexion and the vertical bar buckling.

Finally, both studies has been made for two materials, Steel and aluminium. We have used the Solidworks program for the exoskeletons design, and we have made a Budget comparison of every exoskeleton designs.

## 2. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

Las tecnologías han formado parte de la sociedad desde tiempos pretéritos, teniendo su principal inicio con la revolución industrial, lo que supuso cambios importantes en la vida fabril del momento. Si bien en un principio las máquinas crearon cierto descontento en la población —ludismo, movimiento encabezado por artesanos ingleses que arremetieron contra las nuevas máquinas en las fábricas, 1811-1816—, a posteriori las máquinas han favorecido el desarrollo económico, cultural y social de un país.

A día de hoy, la tecnología forma parte de nuestra vida cotidiana facilitando, en muchos casos, los trabajos pesados y peligrosos, generando insatisfacción laboral debido a desequilibrios entre los que se exige a la persona y los recursos con los que cuentan para satisfacer dichas demandas. En el contexto laboral, estos cambios surgen con el nacimiento y desarrollo de las nuevas tecnologías, pasando de ser consideradas como una amenaza a entenderlas como dispositivos que generan oportunidades a los trabajadores y, por extensión, a la sociedad en general. En particular, ha favorecido que trabajadores y personas con discapacidad puedan atenuar el trabajo monótono y repetitivo, a la par de facilitar el acceso y buen desarrollo de la vida cotidiana. Tanto es así que, la tecnología de vanguardia ha logrado instalarse en cualquier lugar, inclusive en el cuerpo humano. Esto es, mecanismos articulados, tal y como se demostrará a continuación en el desarrollo de esta memoria.

El Presente Trabajo Fin de Grado (en lo sucesivo, TFG) forma parte de un proyecto que se basa en la manipulación de cargas por encima del nivel del corazón —postura penosa desde el punto de vista ergonómico y de la seguridad y salud en el trabajo— disminuyendo la sobrecarga en las articulaciones del brazo gracias a la ayuda de un exoesqueleto pasivo.

En este sentido, el desarrollo de este estudio ha favorecido que el exoesqueleto pasivo favorezca, mediante elementos elásticos, el almacenamiento y liberación de energía desde una posición del cuerpo a otra en un ciclo de movimiento, permitiendo la disminución de sobreesfuerzo realizado por el trabajador.

En términos generales, este TFG va a abordar el diseño mecánico de los brazos de un exoesqueleto. En primer lugar, se hará un estudio de los movimientos del brazo y, por último, una vez analizado el exoesqueleto "*Levitate*", se procederá a realizar un análisis mecánico con el objeto de reducir o disminuir la fatiga en la articulación del hombro. Esto conlleva la elaboración de un nuevo diseño de exoesqueleto superior.

### 3. OBJETO

El objetivo de este proyecto es el diseño de una estructura de los brazos de un exoesqueleto, destinado a minimizar trabajos repetidos, con o sin peso, por encima del nivel del corazón, a fin de que disminuyan la fatiga en la articulación del hombro. El estudio se abordará desde una perspectiva estructural en dos dimensiones, es decir, en el plano, pasando de la tres dimensiones a simplificado a dos dimensiones.

En primer lugar, se elegirá en principio un exoesqueleto existente y nos basaremos en un estudio básico. Partiendo de esa base, se elaborarán varios estudios de mejora de ese exoesqueleto variando ciertos elementos. Para obtener dicha mejora, se tendrá que alcanzar una reducción de esfuerzos, para así poder cumplir el objetivo del diseño y conseguir que el trabajador no disminuya su seguridad y salud en el puesto de trabajo, por lo tanto que no sufra sobreesfuerzo en la articulación del hombro. En segundo lugar, se propone el uso de dos

materiales distintos, acero aleado y aleación de aluminio 1060, para ver su comportamiento y cuál favorecería más al estudio.

## 4. ALCANCE

El TFG se encuadra dentro del ámbito de la ingeniería industrial y de la prevención de riesgos laborales, pretendiendo que el bien jurídico a proteger, la seguridad y la salud de los trabajadores, no sufran ningún deterioro en virtud de lo dispuesto en el art. 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales [1]. Este mandato legislativo supone que un trabajador pueda hacer trabajos por encima del nivel del corazón sin necesidad de poner riesgo la articulación del hombro debido a sobreesfuerzos.

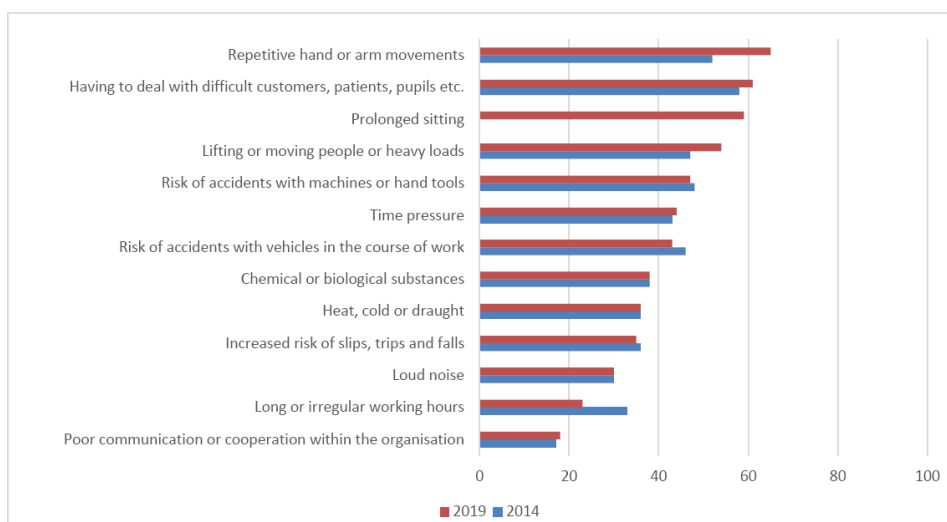
De esta manera, el TFG abarca el diseño y cálculo del brazo del exoesqueleto en varias etapas: se calculan varios métodos de sujeción del brazo y se elige el más óptimo, se hace un diseño en 3D en *SolidWorks*, y se estudian las cargas que soportan tanto la estructura como las articulaciones. Además, también se va a presentar una propuesta de materiales y ver el más favorable.

## 5. ESTADO DEL ARTE

Por un lado, en este trabajo se hará referencia a la normativa vigente que engloba las cargas que un trabajador puede elevar junto con la normativa existente a los exoesqueletos en el trabajo. Por otro lado, se hablará de qué es un exoesqueleto, cuántos tipos hay y cómo se clasifican.

## 5.1. NORMATIVA VIGENTE ESPECÍFICA

Es necesario traer al texto el reciente informe elaborado por la Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo — *EU-OSHA European Agency for Safety and Health at Work . Third European Survey of Enterprises on New and Emerging Risks (ESENER 3-2019)* [2]— en el cual se señala que entre varios factores de riesgos presentes en el entorno de trabajo, los riesgos relativos a los movimiento repetitivos de brazos y manos son los que mayor porcentaje de peligrosidad presentan, tal y como se puede observar en la siguiente Fig. 1.



**Fig. 1.** Factores de riesgo presentes en el puesto de trabajo 2019 y 2014 (% en puestos de trabajo, EU28)

**Fuente:** Todos los puestos de trabajo en el EU28, ESENER-3 (2019) y ESENER-2 (2014). Nota: 'Prolonged sitting' es un nuevo elemento dentro del cuestionario de ESENER-3 (2019)

Existen varias actividades laborales en las que un trabajador tiene que hacer un sobreesfuerzo al elevar una carga por encima del nivel del corazón o simplemente permanecer trabajado con los brazos por encima de la cabeza.

En estos casos, la Guía Técnica de Manipulación Manual de Cargas realizada al amparo del RD 487/1997, establece que un trabajador en condiciones ideales puede cargar como máximo 25 kg, 15 kg para las mujeres, jóvenes o mayores y 40 kg para personas entrenadas en circunstancias especiales. Sin embargo, el exoesqueleto podría disminuir esa carga, pero la normativa no refleja que se pueda usar para elevar la carga máxima.

Los exoesqueletos no están considerados EPI en la Unión Europea. Aunque se produzca una mejora en el ámbito laboral, todavía no existe ninguna legislación que los regule, ni una norma de diseño técnico o procedimiento de certificación que permita considerar o comercializar este producto como EPI. Estos elementos pueden clasificarse como un dispositivo técnico, que apoya a un trabajador en el cumplimiento de su tarea laboral. Por otro lado, muchas empresas están añadiendo este elemento a sus trabajadores para mejorar su seguridad y salud, y por ello, los exoesqueletos deben de integrarse en la evaluación de riesgos, ya que éstos protegen al trabajador del físico y de cargas que pueden conducir a enfermedades relacionadas con el trabajo.

Actualmente, no hay un consenso de que los exoesqueletos puedan proteger contra los TME (Trastornos musculo-esqueléticos), lo que dificulta la clasificación. La aplicación práctica de los exoesqueletos está fuertemente relacionada con la certificación específica. Como ahora mencionado, un exoesqueleto se puede definir como una ayuda técnica como resultado de las regulaciones de la Directiva de maquinaria de la Unión Europea (2006/42/CE). Los sistemas activos se pueden definir mejor con La regulación internacional de robots y dispositivos robóticos (ISO 10218-1: 2011) y la seguridad requisitos para robots de cuidado personal (ISO 13482: 2014).



Si un exoesqueleto está certificado como PPE (*Personal Protective Equipment*), de acuerdo con el Reglamento Europeo 89/686/EEC, puede usarse para propósitos preventivos para evitar lesiones relacionadas con el trabajo o por uso excesivo. Cabe mencionar que El Reglamento 89/686/CEE se transfiere gradualmente al nuevo Reglamento (UE) 2016/425 sobre personal equipo de protección.

## **5.2. EXOESQUELETOS COMERCIALES**

Los exoesqueletos son equipos que tiene como objetivo la prevención de los trastornos músculo-esqueléticos producidos por tareas físicamente exigentes [3, 4]. Éstos son diseñados para emular máquinas que pueden repetir los movimientos humanos o asistir a las personas para recorrer largos períodos. Éste debe ser antropomórfico y ergonómico [5]. Por ello, se necesita saber cómo se cambian los centros de gravedad del cuerpo, para así poder ver el cambio de control de cada movimiento. Se permite también hacer diseños que actúen directamente sobre las articulaciones a controlar. Haciendo un estudio de esfuerzos en cada articulación, se puede elegir el material que se puede usar para soportar dichos esfuerzos.

En este apartado, se van a mostrar los dos tipos principales de exoesqueletos que existen según su fuente de energía: Por un lado, los exoesqueletos activos y por otro lado los exoesqueletos pasivos.

### **5.2.1. Exoesqueleto Activo**

En el caso de los exoesqueletos activos, se va a usar una energía para poder alimentar tanto los sensores como los actuadores que lo componen, por ello, se requiere de una mayor tecnología [6].

Éstos permiten además, tener un mejor control del dispositivo, puesto que se puede tener un control definido por el usuario en tiempo real. En el caso de los sensores, juegan un papel muy importante, pues se necesita saber la posición en la que se encuentra cada articulación con el fin de asignar una nueva posición al exoesqueleto.

Se pueden diferenciar los exoesqueletos estáticos y los exoesqueletos dinámicos [7].

En el primero, los actuadores deben de estar encendidos todo el tiempo para que el dispositivo conserve su forma.

En el segundo, los actuadores no requieren estar encendidos todo el tiempo, permitiendo un uso más eficiente de la energía.

- **Movilidad**

En el caso de la movilidad, existen tres posibilidades:

- Fijo: El exoesqueleto está sujeto o fijado a un elemento externo al exoesqueleto, ya sea una pared, una barra, o un soporte.
- Apoyado: El exoesqueleto está unido a un riel, está apoyado por un marco fijo o puede también que esté apoyado a un robot con ruedas.
- Móvil: Tanto la persona que usa el exoesqueleto como éste, pueden moverse con total libertad.

- **Tipo de control**

En el caso del tipo de control, los exoesqueletos pueden estar sometidos a un tipo de control por:

- Joystick: donde el exoesqueleto tendrá toda la energía necesaria para poder mover al usuario.

- Paneles de control: donde el exoesqueleto tendrá diferentes modos de programación. También se le integrarán ayudas para ciertos movimientos, que puede realizar una persona diferente al usuario.
- Controlados por señales cerebrales: donde el exoesqueleto tendrá una serie de sensores biométricos detectan las señales nerviosas que el cerebro envía a los músculos de nuestras extremidades cuando vamos a comenzar a andar. La unidad de procesamiento del exoesqueleto responde entonces a estas señales, las procesa y hace actuar al exoesqueleto en una fracción de segundo.

- **Material**

Éste será o rígido o flexible. Siendo el rígido un material metálico o fibra de carbono; y el flexible puede ser de un material conocido como “*electrolaminants*”. Este material ayuda al dispositivo a cambiar de forma, de rígido a blando, adaptándose a las necesidades del usuario y siendo útil para reducir el impacto, por ejemplo, de los golpes [8].



**Fig. 2.** Exoesqueleto activo pierna.

**Fuente:** <http://www.elmundo.es>

- **Aplicación**

En cuanto a la aplicación, cabe destacar:

- **Rehabilitación y asistencia:** Permitiendo una mejora de la movilidad del paciente a lo largo del proceso de rehabilitación [9].
- **Extensión:** Diseñados especialmente para incrementar las capacidades humanas, especialmente en tareas que requieren fuerza física.
- **Prevención:** Acoplándose al cuerpo de un trabajador con el fin de que realice una determinada tarea con menor exigencia física.
- **Pediátricos:** Proporciona facilidades a niños mejorando su calidad de vida y puede incluso retrasar las complicaciones asociadas.
- **Deportivos:** El usuario realiza movimientos de una manera más práctica, y en ocasiones, autónoma. Podría funcionar para deportistas que buscan mejorar su rendimiento [10].

### **5.2.2. Exoesqueleto Pasivo**

En este caso, no se requiere de una fuente de energía eléctrica y pueden usarse para:

- **Redistribuir el peso:** Resortes y mecanismos de bloqueo distribuyen el peso de un objeto alrededor del usuario y hacia el suelo.
- **Capturar energía:** Exoesqueletos de embrague y resorte en el tobillo mejoran la eficiencia al caminar.
- **Amortiguación:** Exoesqueletos pasivos de resorte o de amortiguación usados para la absorción del impacto o para reducir la vibración.

- Bloqueo: Permanecen inactivos hasta que son bloqueados en su lugar, permitiendo al usuario mantenerse sentado o agachado en la misma posición por largos períodos de tiempo [11].

Estos exoesqueletos son equipos que se acoplan al cuerpo de un trabajador con el fin de que realice una determinada tarea con menor exigencia física. Este concepto encaja perfectamente a la definición de ergonomía [12].

Los exoesqueletos pasivos no tienen un motor que aumente o complemente la capacidad del usuario, sino que aprovechan la fuerza del trabajador para, por medio de resortes u otros medios, trasladar parte del esfuerzo de unos grupos musculares a otros.



**Fig. 3.** Exoesqueletos pasivos.

**Fuente:** <http://www.iturri.com/soluciones/ergonomia>

Los exoesqueletos pasivos se distinguen en tres tipos [13]:

- Lumbares, que ayuda al operario a flexionar la espalda más de 45°. Se trata de un equipo personal para la prevención de lesiones en esta zona, donde se requiere una flexión de espalda mantenida o repetida, con o sin manipulación manual de cargas [14].

- Sustentación de brazos por encima de hombro, donde se utilizan para operaciones en las que el trabajador pasa bastante tiempo con los brazos levantados por encima del hombro.
- Piernas, que permiten al operario quedarse en una posición semi-sentada, permitiendo mantener al trabajador en un mismo sitio de pie sin sufrir el dolor que se tendría de manera normal, ya que el peso del cuerpo lo soportaría el exoesqueleto.

- **Movilidad**

En el caso de la movilidad, al igual que en los exoesqueletos activos, existen tres posibilidades: Fijo, apoyado y móvil.

- **Tipo de control**

En el caso del tipo de control, los exoesqueletos pasivos, al igual que los activos, pueden estar sometidos a un tipo de control por: Joystick, paneles de control y controlador por señales cerebrales.

- **Material**

Éste será o rígido o flexible. Siendo el rígido un material metálico o fibra de carbono; y el flexible puede ser de un material conocido como “*electrolaminants*”.

- **Aplicación**

En cuanto a la aplicación, al igual que en el exoesqueleto activo, cabe destacar: rehabilitación y asistencia, extensión, prevención, pediátricos y deportivos.

## 6. NORMAS Y REFERENCIAS

### 6.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

- ***Normas Internacionales***

El Convenio nº 155 (de 22 de junio de 1981 y ratificado por España el 11 de septiembre de 1985) de la Organización Internacional de Trabajo (en adelante, OIT), sobre seguridad y salud de los trabajadores y medio ambiente en el trabajo, es la principal norma jurídica en el ámbito de la prevención de riesgos laborales.

Este convenio es la principal norma jurídica en el ámbito de la prevención de riesgos laborales. Éste prevé la adopción de una política nacional coherente sobre seguridad y salud en el trabajo y mejorar sus condiciones, afirmando que se debe dirigir a la prevención. Por ello, se van incluir las principales líneas de acción:

- Diseño, ensayo, elección, reemplazo, instalación, disposición, utilización y mantenimiento de los componentes materiales del trabajo, tales así como lugares de trabajo, herramientas, maquinaria, equipo, operaciones y procesos.
- Relaciones existentes entre los componentes materiales de trabajo y las personas que lo ejecutan o supervisan; y adaptación de la maquinaria, del equipo, del tiempo de trabajo, de la organización del trabajo y de las operaciones y procesos a las capacidades físicas y mentales de los trabajadores.
- Formación, incluida la formación complementaria necesaria, calificaciones y motivación de las personas que intervienen, de una forma u otra, para que se alcancen niveles adecuados de seguridad e higiene.
- Comunicación y cooperación a niveles de grupo de trabajo y de empresa a todos los niveles.

- **Normas Comunitarias**

La Directiva Marco 89/391/C.E.E., del Consejo, de 12 de junio de 1989, relativa a la aplicación de medidas dirigidas a promover la mejora de la seguridad y salud de los trabajadores en el lugar de trabajo. Ésta establece unos requisitos mínimos en materia de seguridad y salud en toda Europa ateniendo a las obligaciones y responsabilidades de los empresarios, de los trabajadores y de las demás personas relacionadas con el lugar de trabajo en materia de prevención de riesgos laborales. Además, regula el funcionamiento y la organización de los servicios de prevención, la gestión de la información, consulta y formación de los trabajadores en materia preventiva.

Por otro lado, continuando los objetivos marcados por la Comisión Europea se desarrolla la Estrategia Europea 2020, que es una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador. Esto significa la consolidación del conocimiento y la innovación como impulsores del crecimiento futuro, requiriendo mejorar la calidad de la educación, consolidar los resultados de la investigación, promover la innovación y la transferencia de conocimientos en toda la Unión. Además, se incluye también la explotación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (en adelante, TIC) y asegurarse de que las ideas innovadoras puedan convertirse en nuevos productos y servicios que generen crecimiento y empleos de calidad, ayudando a afrontar los retos derivados de los cambios sociales en Europa y en el mundo.

Normas complementarias:

- UNE-EN ISO 14121-1:2008 Seguridad de las máquinas. Evaluación del riesgo.
- Norma UNE-ISO 690



- **Normas Internas**

La intervención de la normativa en el campo de la prevención de riesgos laborales se justifica por los factores siguientes:

- En el art. 40.2 CE, ya que la promoción de la seguridad e higiene por los poderes públicos se pretende a través de la imposición de mínimos elevados de protección, obligatorios para el empleador, mínimos de aplicación generalizada, que no se ajustan bien al acuerdo y la transacción.
- La complejidad de la materia y su elevado tecnicismo
- La variedad y multiplicidad de riesgos profesionales, que abre paso también a una variada y múltiple normativa de desarrollo que trata de prever mecanismos preventivos para cada uno de ellos.

La Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, nace con la necesidad de desarrollar los preceptos constitucionales en materia de seguridad y salud laboral. También era necesario adecuar la legislación española a las Directivas Comunitarias sobre prevención de riesgos derivados del trabajo y cumplir con los compromisos internacionales adquiridos con la OIT y con la Carta Social Europea. Por lo tanto, con esta ley, se sientan las bases de una nueva ordenación de la prevención de riesgos laborales y se lleva a cabo para desarrollar una política de protección de la salud de los trabajadores.

Por transposición de la Estrategia Europea 2020, mencionada en el apartado anterior, a nivel nacional se desarrolla la Estrategia Española de ciencia y tecnología y de innovación 2013-2020. La estructura de la estrategia española representa un esfuerzo por alinear las políticas españolas con los objetivos perseguidos por la Unión Europea en materia de I+D+i.

En este sentido, la Estrategia contribuirá a los objetivos establecidos en la estrategia Europa 2020, la Unión para la Innovación, el Espacio Europeo de Investigación y el programa marco Horizonte 2020, teniendo siempre en cuenta las especificidades del Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación, sus capacidades científicas, tecnológicas y de innovación y las características e intereses generales del país de todos sus territorios.

Disposiciones complementarias:

- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañen riesgos, en particular dorso-lumbares, para los trabajadores.

## 6.2. Bibliografía y Webgrafía

- [1] Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. BOE» núm. 269.
- [2] Osha Europa [en línea]. Disponible en: <https://osha.europa.eu/es>
- [3] Seguridad-laboral.es [en línea]. [Consulta: 09/01/2019]. Disponible en: <http://www.seguridad-laboral.es/prl-por-sectores/industria/exoesqueletos-la-nueva-ergonomia>
- [4] prevencion.asepeyo.es [en línea]. [Consulta: 26/09/2017]. Disponible en: <https://prevencion.asepeyo.es/pueden-los-exoesqueletos-prevenir-trastornos-musculoesqueleticos-trabajo/>
- [5] interempresas.net [en línea]. [Consulta: 07/05/2019]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Sector-Automocion/Articulos/245052-CIAC-explora-uso-de-exoesqueletos-para-prevenir-lesiones-en-industria-del-automovil.html>
- [6] prevencionautorizada.com [en línea]. [Consulta: 16/12/2016]. Disponible en: <https://prevencionautorizada.com/el-uso-de-exoesqueletos-para-mejorar-la-ergonomia-esta-cerca/>

- [7] López, R., Aguilar, H., Salazar, S., Lozano, R., y Torres, J. Modelado y Control de un exoesqueleto para la rehabilitación de Extremidad Inferior con dos grados de Libertad, *Science Direct*, 2014, nº 11, 304-314.
- [8] consalud.es [en línea]. [Consulta: 28/11/2015]. Disponible en: [https://www.consalud.es/saludigital/3/desarrollan-un-exoesqueleto-blando-que-funciona-como-un-wearable\\_41061\\_102.html](https://www.consalud.es/saludigital/3/desarrollan-un-exoesqueleto-blando-que-funciona-como-un-wearable_41061_102.html)
- [9] laopiniondemurcia.es [en línea]. [Consulta: 25/10/2019]. Disponible en: <https://www.laopiniondemurcia.es/cartagena/2019/10/25/desarrollan-exoesqueleto-capaz-rehabilitacion/1062944.html>
- [10] activo.news [en línea]. [Consulta: 03/07/2017]. Disponible en: <https://co.activo.news/fitness/exoesqueletos-mejorar-rendimiento/>
- [11] xataka.com [en línea]. [Consulta: 17/08/2017]. Disponible en: <https://www.xataka.com/investigacion/una-silla-sin-silla-asi-se-define-este-wearable-exoesqueleto-que-permite-que-te-sientes-en-cualquier-lugar>
- [12] iturri.com [en línea]. Disponible en: <http://www.iturri.com/en/iturri-laevo-exoskeleton>
- [13] iturri.com [en línea]. Disponible en: <http://www.iturri.com/soluciones/ergonomia>
- [14] mutualia.eus [en línea]. [Consulta: 08/01/2019]. Disponible en: <https://www.mutualia.eus/es/el-exoesqueleto-una-herramienta-para-prevenir-lesiones-en-el-trabajo/>
- [15] valerialanas.com [En línea]. Disponible en: <https://www.valerialanas.com/es/mas-para-ti/tabla-de-equivalencias-de-las-medidas-por-tallas/>
- [16] ideal.es [En línea]. [Consulta 08/04/2015]. Disponible en: <https://www.ideal.es/sociedad/201604/08/cuanto-pesa-cada-parte-20160408101423.html>
- [17] Curso en Facultad Ingeniería: Biomecánica, Biomecánica ósea. Universidad de Antioquia. [En línea]. [Consulta 11/02/2016]. Disponible en: <http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/moodle/mod/page/view.php?id=164158>

- [18] Apuntes de Fisioterapia (Fisiopatología Ósea). Universidad Complutense de Madrid. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.ucm.es/data/cont/docs/420-2014-02-18-01%20fisiopatologia%20osea.pdf>
- [19] Hueso compacto cortical y hueso trabecular. Universidad Complutense de Madrid. [En línea]. Disponible en:  
<https://veterinaria.ucm.es/hueso-cortical-y-hueso-trabecular>
- [20] Catálogo de Resortes Lee Spring Muelles. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.leespring.es/cas/torsi%C3%B3n-b%C3%BAsqueda>
- [21] Antropometría. [En línea] [Consulta en 21/03/2017] Disponible en:  
<https://www.significados.com/antropometria/>
- [22] Antropometría. Valero, E., Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.insst.es/documents/94886/524376/DTEAntropometriaDP.pdf/032e8c34-f059-4be6-8d49-4b00ea06b3e6>
- [23] R.Mondelo, P., Gregori, E., Blasco, J., Barrau, P., Ergonomía 3, Diseño de puestos de trabajo, nº 3.
- [24] Articulación del hombro. Edith Sánchez. [En línea]. [Consulta en 15/11/2018]. Disponible en:  
<https://mejorconsalud.com/articulacion-del-hombro/>
- [25] Articulación del codo. Edith Sánchez. [En línea]. [Consulta en 15/11/2018]. Disponible en:  
<https://mejorconsalud.com/articulacion-del-codo/>
- [26] Trastornos musculoesqueléticos. Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo. [En línea]. Disponible en:  
<https://osha.europa.eu/es/themes/musculoskeletal-disorders>
- [27] Una ergonomía adecuada en los talleres de automoción para la prevención de los trastornos musculoesqueléticos. Umival. [En línea] [Consulta en 01/12/2018]. Disponible en:  
<https://umivale.es/blog/prevencion-y-habitos-saludables/noticia-prevencion/dynacontent/ergonom-a-adecuada-en-talleres-automoci-n-prevenci-n-trastornos-musculoesquel-ticos>

### 6.3. Programas de cálculo

- *SolidWorks 2015*: Creación del diseño de las piezas de los dos exoesqueletos estudiados, tanto diseño de piezas 3D como planos.
- *Excel 2013*: Tablas de accidentes de trabajo extraídas de la página “reduccionabsentismo.es”. Aparte también se utiliza para las tablas de presupuesto.

## 7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

### 7.1. REQUISITOS DE DISEÑO

El exoesqueleto deberá cumplir la función de disminuir la sobrecarga en la articulación del hombro para trabajos por encima del nivel del corazón. Se realizará el estudio para conseguir reducir el sobreesfuerzo que soporta el trabajador en este tipo de tareas.

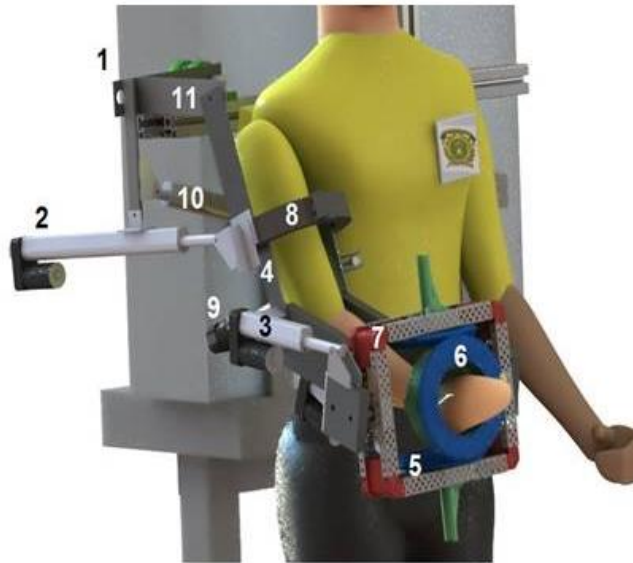
### 7.2. SOLUCIONES PROPUESTAS

En este TFG se quiere conseguir la mejora del diseño de un exoesqueleto comercial (Exoesqueleto “*Levitate*”), con el objetivo de mejorar las condiciones de trabajo en operaciones laborales por encima del nivel del corazón. La idea de analizar y mejorar el exoesqueleto, viene dada porque se conseguiría disminuir las posibilidades de sufrir lesiones físicas o accidentes laborales en la articulación del hombro. Tras un proceso de investigación sobre el exoesqueleto, se llega a la conclusión de dos tipos de propuestas.

- **Propuesta 1**

Esta propuesta se basa en el diseño de un exoesqueleto superior, que consta de una barra vertical, una barra horizontal y una barra diagonal. La barra vertical servirá de apoyo desde la cadera hasta el hombro. La barra horizontal comienza en la articulación del hombro, que se une a la barra vertical por medio de un cojinete lineal. Por último, para reducir el par que se produce en el hombro, se ha introducido un nuevo elemento, en este caso la barra diagonal. Ésta estará apoyada en la barra vertical y se deslizará en la horizontal guiado por un carril.

Esta primera propuesta surge tras una investigación en la que se toma como referencia el exoesqueleto “*Levitate*”. Partiendo de éste, se propone un complemento alternativo para mejorarlo, por ello, se incluye una idea que se ha escogido de un exoesqueleto superior (Fig. 4). En este caso, hay un resorte de gas hidráulico que ayudará a elevar el brazo (Fig. 4, pieza 2). El propósito de esta propuesta se basa en intercambiar este elemento por una barra maciza sin ningún tipo de actuador. Para evitar que el exoesqueleto permanezca en estático, se introduce un rodamiento en el extremo, para así poderse desplazar por el carril, anteriormente descrito, que se ha puesto en la barra que sujeta el brazo.



**Fig. 4.** Exoesqueleto superior idea propuesta 1

**Fuente:** [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-95322018000100081](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-95322018000100081)

- ***Propuesta 2***

Esta propuesta se basa en el diseño de un exoesqueleto superior, que consta de una barra vertical, que servirá de apoyo desde la cadera hasta el hombro. En este punto se produce la unión entre la barra vertical y una barra horizontal que servirá de apoyo para el brazo. Por último, para reducir el par que se produce en el hombro, se ha introducido un nuevo elemento, en este caso un resorte de torsión que disminuirá dicho par.

Esta idea nace de un diseño de un elemento de refuerzo y protección de la rodilla. Esta pieza (Fig. 5), sirve para reducir la presión excesiva en la rodilla y para disminuir las posibilidades de una posible lesión articular. Por ello, se ha implementado un sistema similar al exoesqueleto de esta propuesta, puesto que un punto interesante en el objeto de este TFG es la reducción de sobreesfuerzo en la articulación del hombro. Como la base de partida de la propuesta es el exoesqueleto “*Levitate*”, se propone una mejora añadiendo un resorte de torsión en la unión entre la barra horizontal de sujeción del brazo y la barra vertical que la sujeta. Esto ayuda a una reducción del par en el hombro.



**Fig. 5.** Par de rodilleras de soporte de articulación rodilla

**Fuente:** <https://www.amazon.es/HXMH-Protecci%C3%B3n-Elevaci%C3%B3n-Rodilleras-Almohadillas/dp/B07WFG18CK>



## 8. SOLUCIONES ANALIZADAS

En este apartado se hará una descripción de cada una de las propuestas descritas en el apartado anterior.

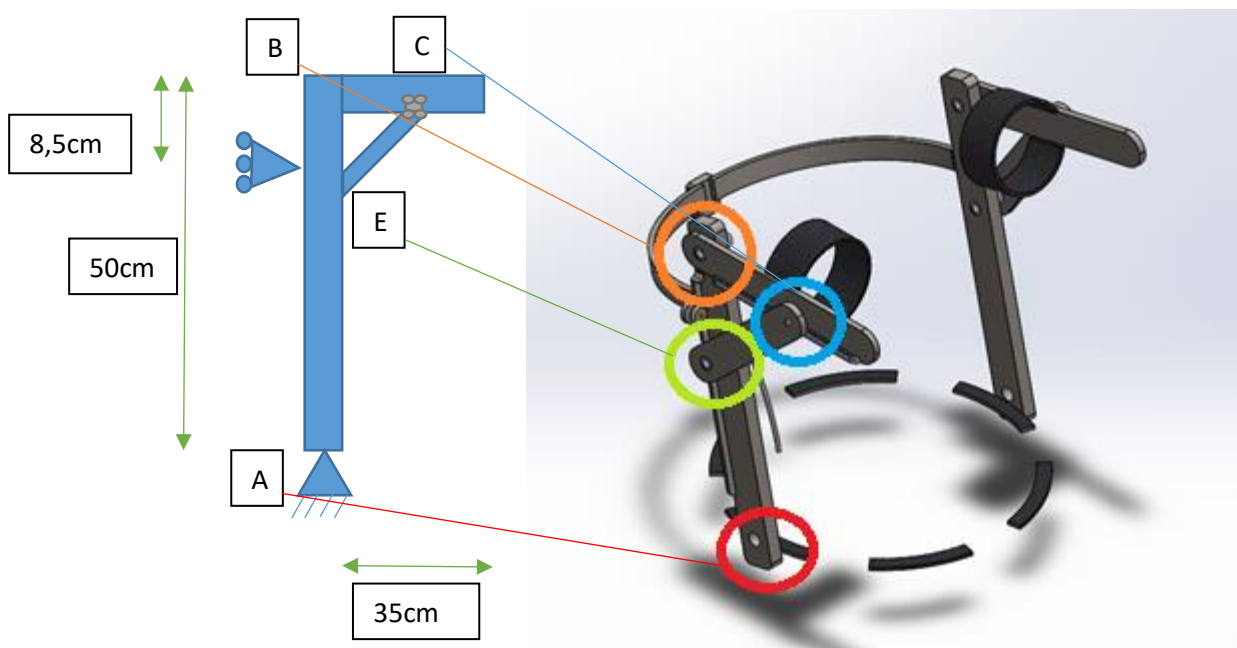
### 8.1. Exoesqueleto superior con barra deslizable.

Este exoesqueleto es la “propuesta 1”, donde el elemento que se introduce para reducir el par del hombro, es una barra diagonal deslizable en la horizontal. Este diseño está formado por un mecanismo en el que la barra que va desde el punto “E” hasta el “C” (barra deslizable) (Fig. 6), va a distribuir las fuerzas de los brazos entre ellas, consiguiendo una disminución de la fuerza en la articulación del hombro como se puede observar en la Tabla 1. Esto va a permitir una reducción de las posibilidades de sufrir un accidente de trabajo por encontrarse en una “postura forzada”, teniendo en este caso, los brazos por encima del nivel del corazón. Se han redondeado las esquinas de las barras, se han añadido cojinetes lineales en las uniones de las barras, y se han introducido otros elementos como es el caso del cinturón del brazo, para así sujetar el brazo a la barra, quedando ergonómicamente más confortable. En la Fig. 6, las líneas discontinuas reflejan un cinturón que está sujeto a la cadera, traspasando todo el peso que soporta el exoesqueleto a la misma.

En la Tabla 1, extraída del Anexo I, se puede visualizar las fuerzas y los momentos producidos en cada uno de los puntos estudiados del exoesqueleto. Se puede deducir que en el punto “A”, que es el apoyo en la cadera, no disminuye el peso que soporta, pero si disminuye la fuerza vertical en el hombro, punto “B”. Es decir, el peso en la cadera no cambia con respecto al exoesqueleto base, pero en este caso, el hombro no sujeta tanto esfuerzo.

**Tabla 1.** Fuerzas y momento partes del Exoesqueleto con barra deslizable a 30° y 45°

Barra deslizable	$R_{AX}$	$R_{AY}$	$R_{BX1}$	$R_{BX2}$	$R_{BY}$	$R_{CY}$	$R_{EX}$	$R_{EY}$
Fuerza (N)	0	49	0	0	22,54	-71,54	0	-71,54
Momento (N*cm)	0		0			0	0	



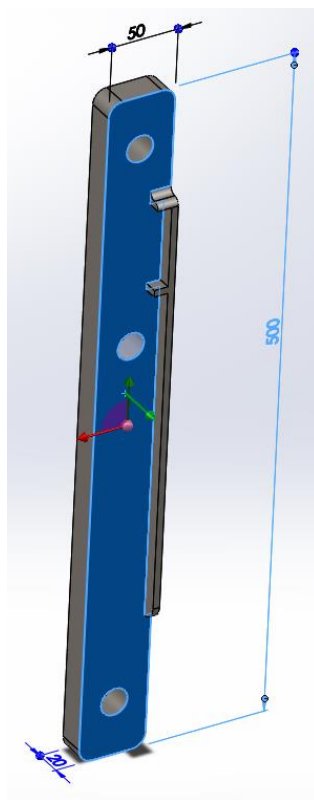
**Fig. 6.** Exoesqueleto superior con barra deslizable.

**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación, se van a exponer las diferentes piezas por las que está constituido el exoesqueleto.

- **Barra vertical**

Esta barra está apoyada a una lengüeta que sale del cinturón del exoesqueleto. Ésta será el pilar que sujetará la barra del antebrazo en la parte superior. Aparte, tendrá una sujeción, cercana al medio de la misma, de una barra que se deslizará en la barra horizontal del brazo. Se fabricará a base de una barra maciza, ya sea de acero o de aleación de aluminio, de 50 cm de longitud, 5 cm de altura y 2 cm de anchura.

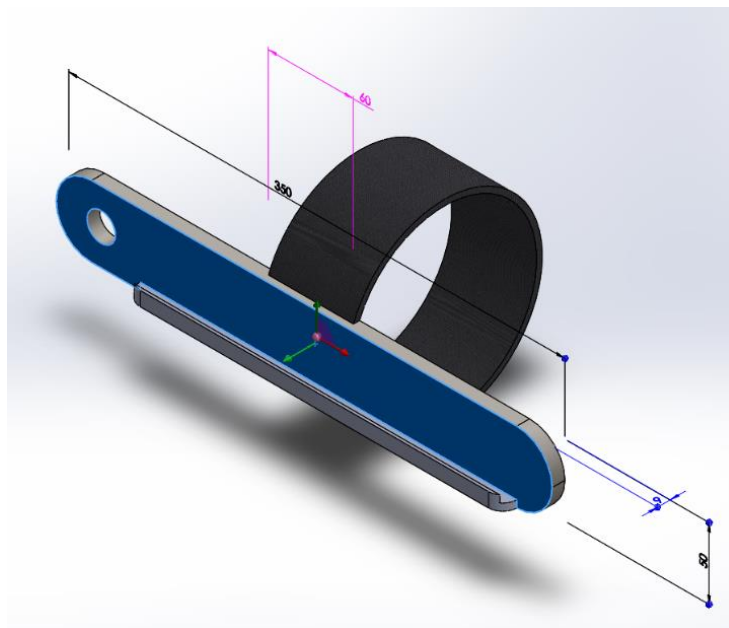


**Fig. 7.** Barra vertical

**Fuente:** Elaboración propia.

- **Barra brazo**

Esta barra va sujeta a la barra vertical expuesta en la Fig. 5, por la parte superior mediante un cojinete lineal que va a actuar de articulación en este punto. Por esta barra se deslizará un rodamiento por un carril que se ha soldado a la barra maciza. Esta barra estará apoyada en la barra vertical. Las medidas de la barra horizontal serán de 35 cm de longitud, 5 cm de altura y 1 cm de ancho.



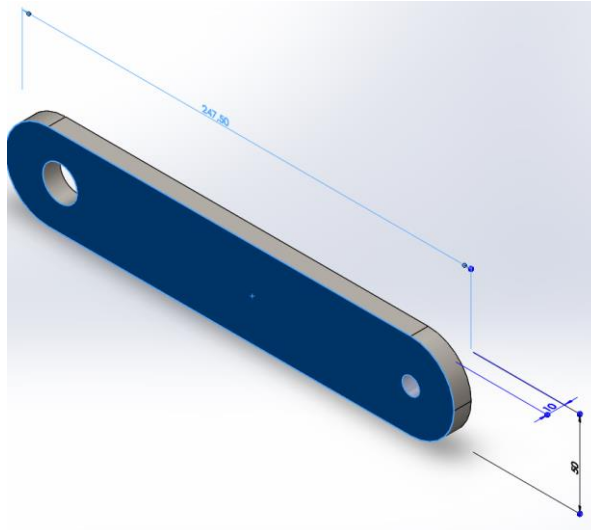
**Fig. 8.** Barra brazo.

**Fuente:** Elaboración propia.

- **Barra deslizable**

Esta barra, es aquella que irá desde la barra vertical, apoyada, hasta la barra horizontal del brazo, donde se desplazará gracias a un rodamiento que se ha introducido. Éste se moverá por medio de un carril que tendrá dicha barra, produciendo que la fuerza que se produce en el hombro disminuya, ya que parte de la fuerza se verá trasladada a sus extremidades.

Las medidas serán de 20,2 cm de longitud, en el caso de poner esta barra deslizable a 30° de la horizontal, o de 24,75 cm de longitud, en el caso de ponerla a 45° de la horizontal. Su altura será de 5 cm y su anchura de 1 cm.

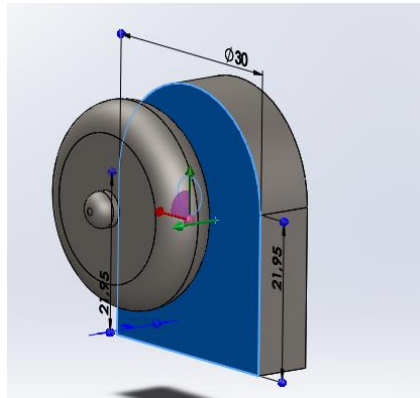


**Fig. 9.** Barra deslizable.

**Fuente:** Elaboración propia.

- ***Rodamiento lateral***

Esta pieza será de gran importancia para sujetar la barra vertical de un brazo al otro, mediante una pieza que irá unida a ésta. Al rodamiento rígido de bolas se encuentra acoplado una rueda plástica, que será la que se desplazará por el carril creado, con un trayecto limitado, en la barra vertical. Esta pieza será fabricada con las siguientes medidas: El rodamiento será de 5 mm de diámetro interior y 19 mm de diámetro exterior (Anexo II), acoplándose la rueda plástica de 28,50 mm de diámetro. En el interior del rodamiento se introducirá un eje con una longitud de 17 mm de eje que irá acoplado a una pieza de 36,95 mm de altura, 30 mm de ancho y 8 mm de profundo.

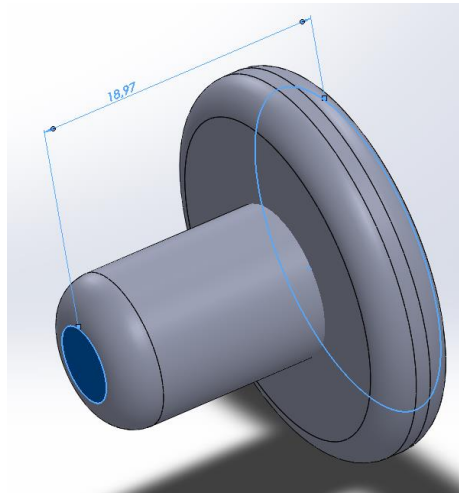


**Fig. 10.** Rodamiento lateral.

**Fuente:** Elaboración propia.

- ***Rodamiento superior***

Esta pieza será relevante en este diseño del exoesqueleto, pues es la que permitirá desplazar la barra deslizante por el carril de la barra horizontal del brazo. Por ello, a la barra deslizante se acoplará al rodamiento rígido de bolas una rueda plástica para que se desplace por el carril de la barra horizontal. El rodamiento será de 10 mm de diámetro interior y 15 de diámetro exterior (Anexo II), acoplándose la rueda plástica de 25 mm de diámetro. En el interior de éste se introducirá un eje que tendrá una longitud de 18,97 mm.



**Fig. 11.** Rodamiento superior.

**Fuente:** Elaboración propia.

- ***Cojinete lineal***

Este elemento será incorporado en el exoesqueleto en los puntos articulados, donde también hace de elemento de unión entre 2 piezas. Esta pieza permitirá el movimiento rotativo entre las dos barras, y también, permitirá minimizar las pérdidas producidas por rozamiento.

Se incorporarán dos medidas de cojinetes, ya que hay que solventar el problema de que la barra del brazo y la deslizable choquen entre sí. Por un lado, para la barra deslizable, irá colocado un cojinete lineal de 50 mm de longitud, con un diámetro interior de 30 mm y un diámetro exterior de 40 mm. Por otro lado, en el caso del que va colocado en la barra horizontal del brazo, tendrá una longitud de 30 mm, 16 mm de diámetro interior y 24 mm de diámetro exterior (Anexo II).



**Fig. 12.** Cojinete lineal.

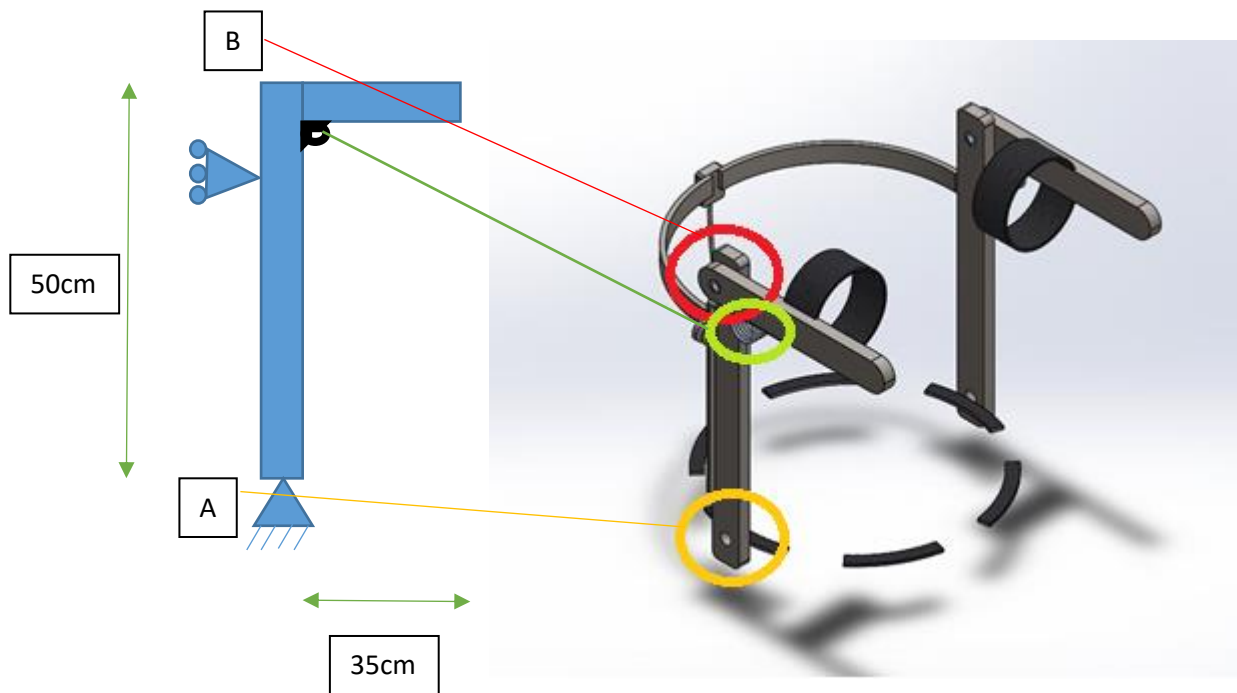
**Fuente:** Bosch Rexroth AG

## 8.2. Exoesqueleto superior con resorte.

Este exoesqueleto es la “propuesta 2”, donde el elemento que se introduce para disminuir el par del hombro es un resorte de torsión. Pues será éste el que ayude al operario a desplazar el brazo con mayor facilidad y disminuir el sobreesfuerzo en las articulaciones de los hombros. Este diseño es bastante sencillo, pero a su vez es bastante funcional y simple de manejar. En la Fig. 13, se puede visualizar una líneas discontinuas, que simbolizan el cinturón que va amarrado en la cadera para sujetar el exoesqueleto. Otra de las cosas que llaman la atención son los cinturones de brazo, pues será de gran ayuda al trabajador para desplazar la barra horizontal a la vez que desplaza su propio brazo.



Como será de gran importancia la salud del trabajador, se ha prevenido de la mayoría de lesiones simples a la hora de diseñar dicho exoesqueleto, redondeando las esquinas de las piezas e introduciendo cojinetes lineales en las uniones.



**Fig. 13.** Exoesqueleto superior con resorte.

**Fuente:** Elaboración propia.

De la tabla 2, se deduce que tiene la misma fuerza en el punto “B” y en el punto “A” con respecto al eje de las “Y”. Pero también aparecen unas fuerzas en el eje horizontal, ya que se produce un momento debido al resorte que se encuentra sujeto en el punto “B”. Por lo que, para el caso de disminuir el par que se produce en el hombro, se debe elegir un resorte de torsión que lo disminuya lo mayor posible. Como lo interesante del estudio es disminuir el momento en el hombro, se va a elegir este exoesqueleto diseñado.

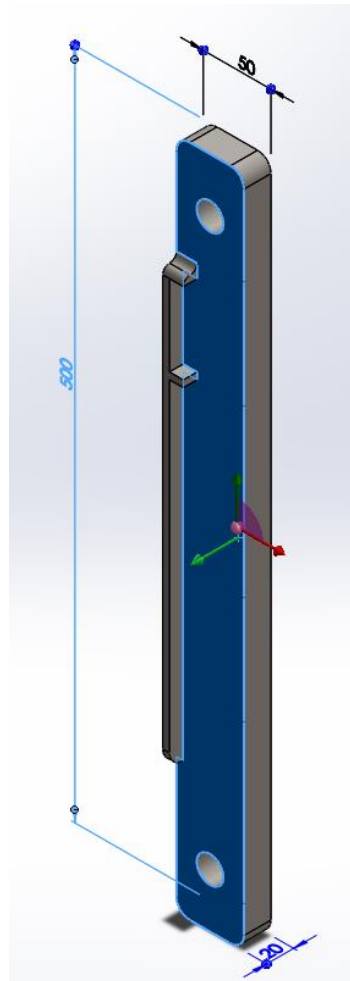
**Tabla 2.** Fuerzas y momento partes Exoesqueleto con resorte de torsión

<b>Resorte de torsión</b>	<b>R<sub>AX</sub></b>	<b>R<sub>AY</sub></b>	<b>R<sub>BX1</sub></b>	<b>R<sub>BX2</sub></b>	<b>R<sub>BY</sub></b>
<b>Fuerza (N)</b>	<b>30,17</b>	<b>49</b>	<b>-30,17</b>	<b>0</b>	<b>-49</b>
<b>Momento (N*cm)</b>	<b>0</b>		<b>-1251,95</b>		

A continuación, se van a exponer las diferentes piezas por las que está constituido el exoesqueleto.

- **Barra vertical**

Esta barra está apoyada a una lengüeta que sale del cinturón del exoesqueleto. Ésta será el pilar que sujetará la barra del antebrazo en la parte superior. Se fabricará a base de una barra maciza, ya sea de acero o de aleación de aluminio, de 50 cm de longitud, 5 cm de altura y 2 cm de anchura.

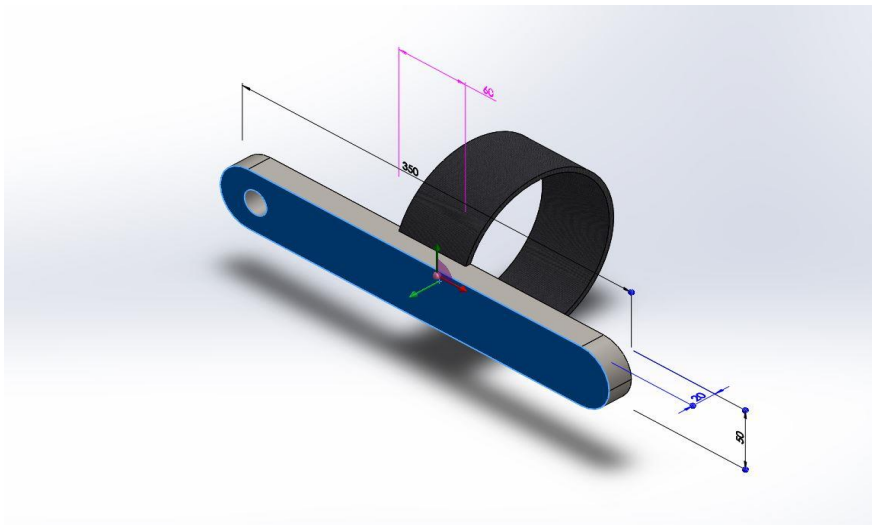


**Fig. 14.** Barra vertical.

**Fuente:** Elaboración propia.

- **Barra brazo**

Esta barra va sujeta a la barra vertical expuesta en la Fig. 4, por la parte superior mediante un cojinete lineal que va a actuar de articulación en este punto. Las medidas serán de 35 cm de longitud, 5 cm de altura y 2 cm de ancho.



**Fig. 15.** Barra brazo.

**Fuente:** Elaboración propia.

- **Resorte de torsión**

Este elemento ha sido elegido mediante el estudio realizado en el Anexo I, para disminuir el par que se produce en el hombro. Esta pieza va a ser crucial para que el trabajador que se expone a una actividad profesional, esté lo más cómodo realizando el trabajo sin necesidad de forzar la articulación del hombro, y por ello, previniendo un posible accidente laboral. El resorte de torsión elegido para este exoesqueleto, mediante el estudio realizado, es el expuesto en el catálogo en el Anexo II denominado “LTR135T 07”.

Éste tiene un diámetro exterior de 37,89 mm, un diámetro del alambre de 3,43 mm, una longitud de patas de 101,60 mm, una longitud aproximada del cuerpo de 18 mm y está formado por 4,25 espirales. Aparte, este resorte está diseñado para soportar un momento de 700,5 N\*cm, por lo que será de relevante importancia para reducir dicho sobreesfuerzo. En la Tabla 2 se refleja que en la articulación del hombro se produce la aparición de un momento de 1251,95 N\*cm, por lo que con el uso de este resorte se disminuirá el par en más de la mitad en cada brazo.



**Fig. 16.** Resorte de torsión.

**Fuente:** Lee Spring Resortes de torsión 90°

- ***Cojinete lineal***

Este elemento será incorporado en el exoesqueleto en los puntos articulados, donde también hace de elemento de unión entre 2 piezas. Éste tendrá una medida de 16 mm de diámetro interior y 24 mm de diámetro exterior (Fig. 12).

- ***Rodamiento lateral***

Esta pieza será de gran importancia para sujetar la barra vertical de un brazo al otro, mediante una pieza que irá unida a ésta. Ésta se desplazará por el carril creado, con un trayecto limitado, en la barra vertical (Fig. 10).

### 8.3. Conclusiones Soluciones Exoesqueletos

Después de haber descrito y estudiado cada uno de los exoesqueletos, se va a incluir también en la comparación de fuerzas y momentos, el exoesqueleto principal de mejora, que en este caso es el exoesqueleto “*Levitate*”. Ya hecho un estudio de él, expuesto en el Anexo I, se va a concluir con dicha comparación de fuerzas y momentos que actúan sobre las partes de los exoesqueletos, y de qué manera repercuten en el trabajador.

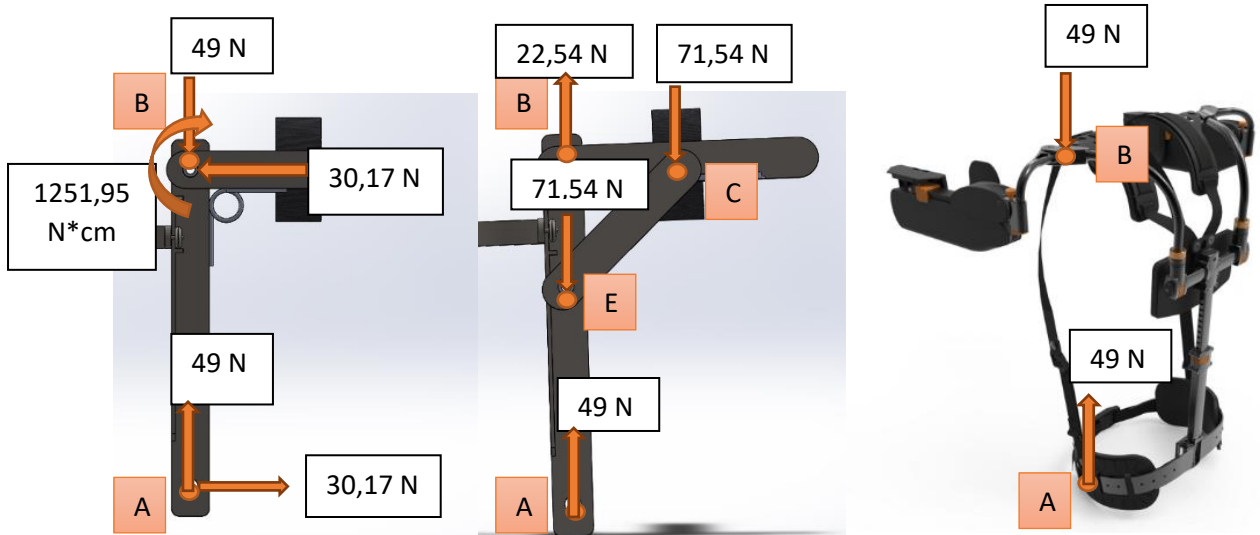
En primer lugar, el exoesqueleto “*Levitate*” simplemente transfiere la fuerza que genera el brazo del operario hacia la cadera, pasando ésta por el hombro del mismo. Esto le permite al trabajador disminuir el sobreesfuerzo en el hombro, minimizándolo de tal manera que será la cadera la que sujete dicho esfuerzo, haciendo que las piernas del trabajador soporten todo el peso.

Por otro lado, el exoesqueleto con la barra deslizante no disminuye el esfuerzo en la cadera, pero debido a las barras que componen este exoesqueleto y su distribución, permite disminuir las fuerzas en ciertos puntos. Como en este TFG se busca una disminución del sobreesfuerzo en el hombro, este exoesqueleto cumple con el objeto. En la Tabla 3 se representa cómo la fuerza en el hombro (Punto B), disminuye más de la mitad de lo que exponía el exoesqueleto “*Levitate*”.

Por último, el exoesqueleto diseñado con un resorte de torsión implantado en la articulación del hombro, presenta el mismo esfuerzo en la cadera. Además, también aparecen fuerzas en el eje horizontal, pudiendo el trabajador hacer un mayor esfuerzo en el hombro y en la cadera para reducir dicho desequilibrio. Pero, por otro lado, este resorte, expone un momento en la articulación del hombro que es crucial para disminuir dicho sobreesfuerzo, evitando o disminuyendo las posibles lesiones o bajas laborales que pueden presentar.

**Tabla 3.** Comparación fuerzas y momentos exoesqueletos.

Opciones Exoesqueletos		$R_{AX}$	$R_{AY}$	$R_{BX1}$	$R_{BX2}$	$R_{BY}$	$R_{CY}$	$R_{EX}$	$R_{EY}$
Exoesqueleto Levitate	Fuerza (N)	0	49	0	0	-49	-	-	-
	Momento (N*cm)	0		0		-	-		
Barra deslizable	Fuerza (N)	0	49	0	0	22,54	-71,54	0	-71,54
	Momento (N*cm)	0		0		0	0		
Resorte de torsión	Fuerza (N)	30,17	49	-30,17	0	-49	-	-	
	Momento (N*cm)	0		-1251,95		-	-		



1. Exoesqueleto resorte 2. Exoesqueleto barra deslizable 3. Exoesqueleto "Levitate"

**Fig. 17.** Diferencias fuerzas y momentos exoesqueletos propuestos

Fuente: Elaboración propia

- **Esfuerzo Normal y deformación en la tibia**

Debido a lo expuesto anteriormente, aparecen en todos los exoesqueletos una fuerza que actúa en la cadera debido a las cargas generadas por los brazos del trabajador. Éstas repercuten directamente en las piernas de los mismos, pudiendo así producir alguna lesión o rotura muscular u ósea. Por lo tanto, se va a proceder a hacer un estudio de cómo afecta este sobreesfuerzo en la tibia de la persona, también expuesto en el Anexo I. Como el esfuerzo normal que se produce en la tibia será de 0,583 MPa, y el esfuerzo normal admisible de la misma es de 50 MPa, se concluye que no hay ningún problema para que se produzca una rotura, ya que el valor que soporta es mucho menor del que puede soportar. Por otro lado, la deformación será de 0,00324%, no presentando así ningún tipo de deformación preocupante para la misma.

- **Flexión barra horizontal**

Se ha procedido a hacer un estudio de flexión de la barra horizontal del brazo, ya que es interesante conocer si el peso que soporta esta barra va a soportar tal esfuerzo. Hay que hacer referencia a que los materiales estudiados han sido por un lado el acero aleado, y por otro lado la aleación de aluminio 1060. Debido a que sus tensiones admisibles son de  $3,1 \cdot 10^8$  N/m<sup>2</sup> y  $1,38 \cdot 10^7$  N/m<sup>2</sup> respectivamente, después de haber realizado dicho estudio, se ha comprobado que la tensión que se presenta en dicha barra es de  $1,5 \cdot 10^6$  N/m<sup>2</sup>, por lo que ambos materiales van a soportar el esfuerzo y serán aptos para la implantación del diseño del exoesqueleto.



- **Pandeo barra vertical**

En el caso de la barra vertical, se ha estudiado su pandeo, ya que será relevante la sujeción de ésta y si podrá mantener las fuerzas expuestas. Los materiales usados han sido los mismos que en el estudio de flexión. En este caso, lo importante será que la carga crítica de la barra sea inferior al peso que presenta, ya que no es interesante que se produzca pandeo en la barra estudiada. Como la carga crítica para la barra vertical de acero aleado es de  $2,76 \cdot 10^5$  N y para la de aluminio es de  $9,07 \cdot 10^4$  N, no supone ningún problema de pandeo, debido a que esta barra no soporta ningún esfuerzo mayor (49 N).

- **Ergonomía**

En el Anexo III, se ha planteado un estudio ergonómico para los trabajadores que realicen operaciones laborales con una postura forzada, donde los brazos se encuentran por encima del nivel del corazón.

En primer lugar, se ha introducido el término antropometría, para así conocer las medidas y dimensiones de las diferentes partes del cuerpo humano, ya que estas varían de un individuo a otro debido a diferentes parámetros como puede ser la edad, el sexo o la raza, entre otros. También se ha hecho un análisis biomecánico para reconocer si un esfuerzo en una determinada postura puede provocar sobrecarga en alguna estructura del aparato locomotor. Por ello, es importante conocer los movimientos del cuerpo humano y los elementos que permiten dicha acción. Estos movimientos se permiten gracias a las articulaciones, que son los focos de las lesiones por sobreesfuerzos.

Por otro lado, se ha pasado a estudiar cuántos accidentes de trabajo se producen debido a un sobreesfuerzo que acaba dañando la articulación del hombro. Los datos expuestos en el Anexo III, tabla 2, son recogidos por la Asociación de Mutuas de Accidentes de Trabajo (AMAT), donde se puede concluir que de los 109075 accidentes de trabajo producidos en la articulación del hombro, 106631 son debido a sobreesfuerzos físicos en el sistema músculo esquelético. De este estudio se puede ver la importancia de proteger a los trabajadores que se vean sometidos a estas operaciones.

Sin embargo, se ha contrastado esta información anterior con un estudio ergonómico real de una empresa de automoción de Tenerife. En esta empresa, se ha planteado el estudio preventivo del sistema músculo esquelético haciendo uso de la metodología REBA (*Rapid Entire Body Assessment*), que permite estimar el riesgo de padecer desórdenes corporales relacionados con el trabajo y valorar las posturas forzadas. Este estudio concluye que los trabajos que someten a los operarios a posturas forzadas, donde los brazos se encuentran por encima del nivel del corazón, presentan un nivel de riesgo medio y hace necesario una intervención inmediata y un análisis a posteriori. Estos trabajadores, presentan en las extremidades superiores y en el tronco los valores más altos de riesgo dentro de los riesgos ergonómicos de los talleres de la empresa. Por ello, hay que considerar las soluciones óptimas para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Como medida para reducir el riesgo se podría implantar un sistema que reduzca la probabilidad de daño al trabajador, siendo una alternativa de mejora de estas condiciones de trabajo la utilización de un exoesqueleto.

- **Presupuesto**

El presupuesto total de cada uno de los exoesqueletos diseñados con los diferentes tipos de materiales viene definido a continuación: Para el exoesqueleto pasivo superior de acero aleado con resorte, el presupuesto total es de 543,15 euros. El exoesqueleto pasivo superior de aluminio con resorte cuesta 648,88 euros. El exoesqueleto pasivo superior de acero aleado con barra deslizable tiene un presupuesto total de 576,92 euros. Por último, el exoesqueleto pasivo superior de aluminio con barra deslizable cuesta 682,76 euros.

Haciendo una comparación general del presupuesto de cada uno de los exoesqueletos, aquellos que son fabricados con aluminio son más caros que los de acero. En el caso de los exoesqueletos fabricados con acero aleado, el presupuesto del material es más caro, sin embargo, el aluminio exige una mano de obra más costosa. La principal ventaja que tiene el acero aleado sobre el aluminio es su resistencia. Mientras que el aluminio puede ser menos denso y más ligero, el acero es más fuerte.

## 9. CONCLUSIONS

Both exoskeletons accomplish with the first objective, which is reduce the shoulder's effort. On the one hand, the exoskeleton with the spring have a moment in the shoulder which is very important for reduce that effort. On the other hand, the exoskeleton with the slider bar, allows an improvement in the force acting on the shoulder reducing it with respect to "Levitate's" exoskeleton.

Has been selected each exoskeleton type for the two materials study, Steel and aluminium. After that, it's necessary look if as horizontal bar as vertical bar accomplish some kind of disturbing deformation. The first one, has been studied to flexion, and the other one, has been studied to buckling being both of them favorable.

It is also important the different prices they are going to cost. In the Budget, can be showed the Steel is expensive than aluminium, but this one is necessary a more expensive workforce, because the welding in aluminium, needs more materials and with a better quality.

Finally, the choice of both exoskeletons are a good selection, because they reduce the shoulder effort, and they aren't so expensive one of the other.



**Escuela Superior  
de Ingeniería y Tecnología**  
Universidad de La Laguna

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

# **ANEXO I. CÁLCULOS**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**DISEÑO DE EXOESQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR  
SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO**

**Antonio González Armas**

## INDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>CÁLCULOS FUERZAS BRAZO .....</b>	<b>3</b>
	.....	5
2.1.	Brazo en posición horizontal con ángulo recto.....	5
2.2.	Brazo en una posición intermedia.....	8
<b>3.</b>	<b>CÁLCULOS EXOESQUELETO “LEVITATE” .....</b>	<b>9</b>
3.1.	Introducción .....	9
3.2.	Exoesqueleto “Levitate” en posición horizontal .....	10
3.3.	Exoesqueleto “Levitate” en una posición intermedia.....	13
3.4.	Exoesqueleto “Levitate” por partes en posición horizontal .....	14
<b>4.</b>	<b>ESTUDIO DEFORMACIÓN DE LA TIBIA.....</b>	<b>16</b>
<b>5.</b>	<b>OPCIONES DE DISEÑO EXOESQUELETO .....</b>	<b>18</b>
5.1.	Opción 1.1. Barra deslizante (30°).....	18
5.2.	Opción 1.2. Barra deslizante (45°).....	21
5.3.	Opción 2. Resorte de torsión (90°).....	25
<b>6.</b>	<b>ESTUDIO DE FLEXIÓN.....</b>	<b>28</b>
<b>7.</b>	<b>ESTUDIO DE PANDEO .....</b>	<b>31</b>
<b>8.</b>	<b>DIAGRAMAS MOMENTO FLECTOR Y FUERZA CORTANTE.....</b>	<b>34</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

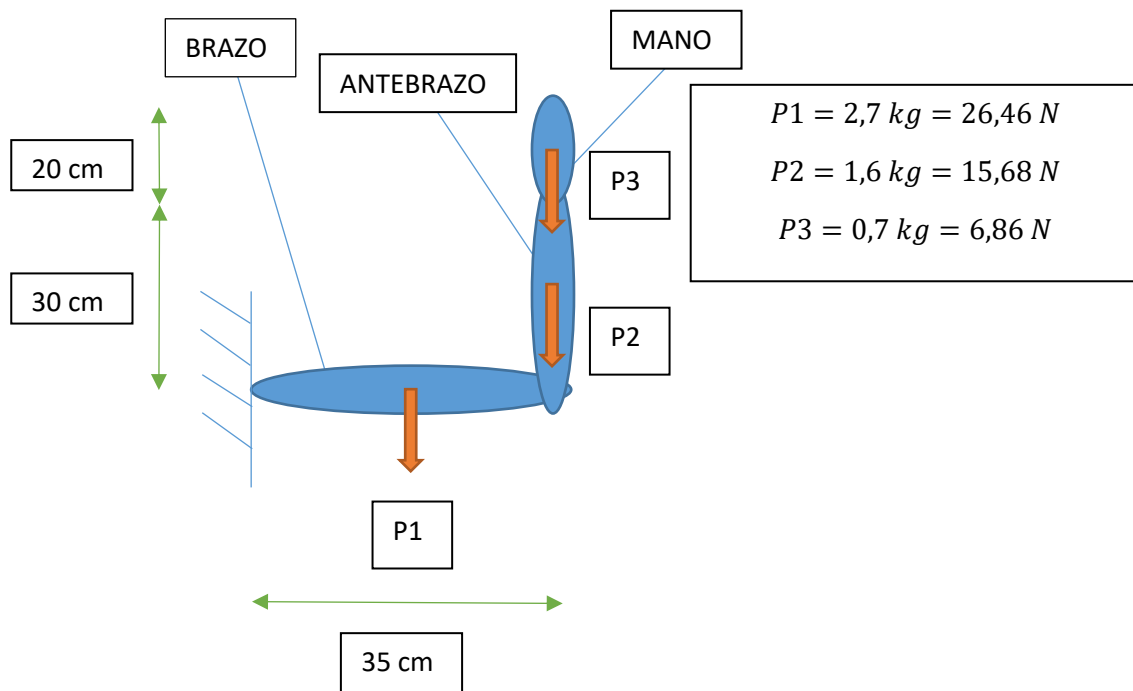
En este documento se van a detallar los cálculos que se han hecho para el diseño del exoesqueleto. En primera mano, se va a calcular cómo se reparten los pesos del propio brazo de una persona en una posición por encima de la horizontal. Partiendo de esta base, se estudiará el exoesqueleto comercial “*Levitare*” y se propondrá una mejora para reducir el momento que sufre el hombro del trabajador. También se va a estudiar cómo afecta los pesos del brazo a los huesos de las piernas de la persona, y si en cualquier caso se pudiese elevar la carga sin tener problema de rotura en la tibia.

Por último, se hará un estudio de las tensiones a flexión en la barra que sujeta al brazo y un estudio de pandeo en la barra vertical. Ambos estudios se verán influenciados por el material que se haya elegido. En este caso, se elegirá el acero aleado y la aleación de aluminio 1060, viendo también si éstos soportan las cargas.

## 2. CÁLCULOS FUERZAS BRAZO

Se va a considerar en el estudio, las dimensiones [15] y los pesos [16] de cada parte del brazo de media de un cuerpo humano. En este caso, supondremos que tendrá una media de 65 cm de longitud del brazo, compuesto en 35 cm y 30 cm, expuesto en la Fig. 1. Por otro lado, la mano va a tener una media de 20 cm de longitud. El peso de cada uno de los componentes del brazo va a venir de la siguiente forma:

- P1 – Será el peso medio en Newton del brazo de una persona.
- P2 – Será el peso medio en Newton del antebrazo de una persona.
- P3 – Será el peso medio en Newton de la mano de una persona.



**Fig. 1.** Esquema pesos brazo.

**Fuente:** Elaboración propia.

Se va a suponer que el brazo se encuentra en primer lugar en posición horizontal formando un ángulo recto en la inclinación que va a tener el codo. También se considerará que el hombro será un empotramiento, ya que se supone que se quiere mantener en estático sin ningún tipo de movimiento; por lo que tendrá una reacción en el eje de las X y una reacción en el eje de las Y junto con un momento.



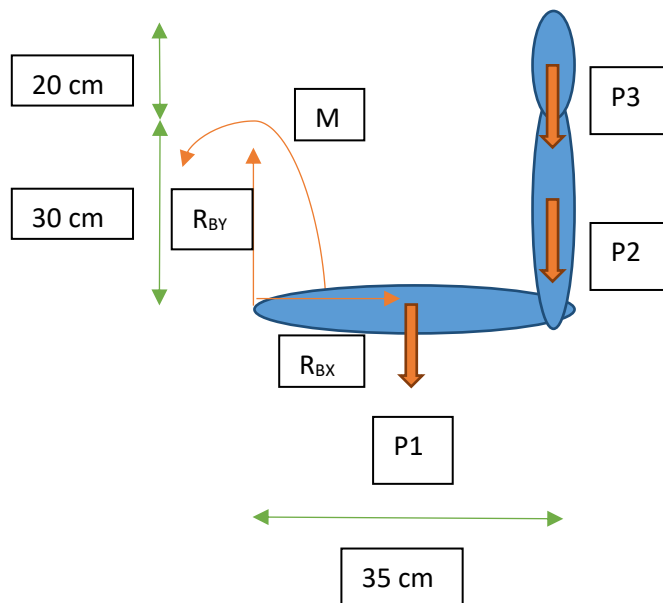


Fig. 2. Esquema fuerzas brazo.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.1. Brazo en posición horizontal con ángulo recto

Expresando este enfoque del brazo, se van a calcular las fuerzas de reacción en el hombro junto con el par que tiene que hacer para contrarrestar el existente y mantenerse en estático, ya que las fuerzas representadas en la Fig. 2, son los pesos de cada parte del brazo.

$$\Sigma F_x = 0; R_{BX} = 0 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0; R_{BY} - P1 - P2 - P3 = 0$$

$$R_{BY} = 49 \text{ N}$$

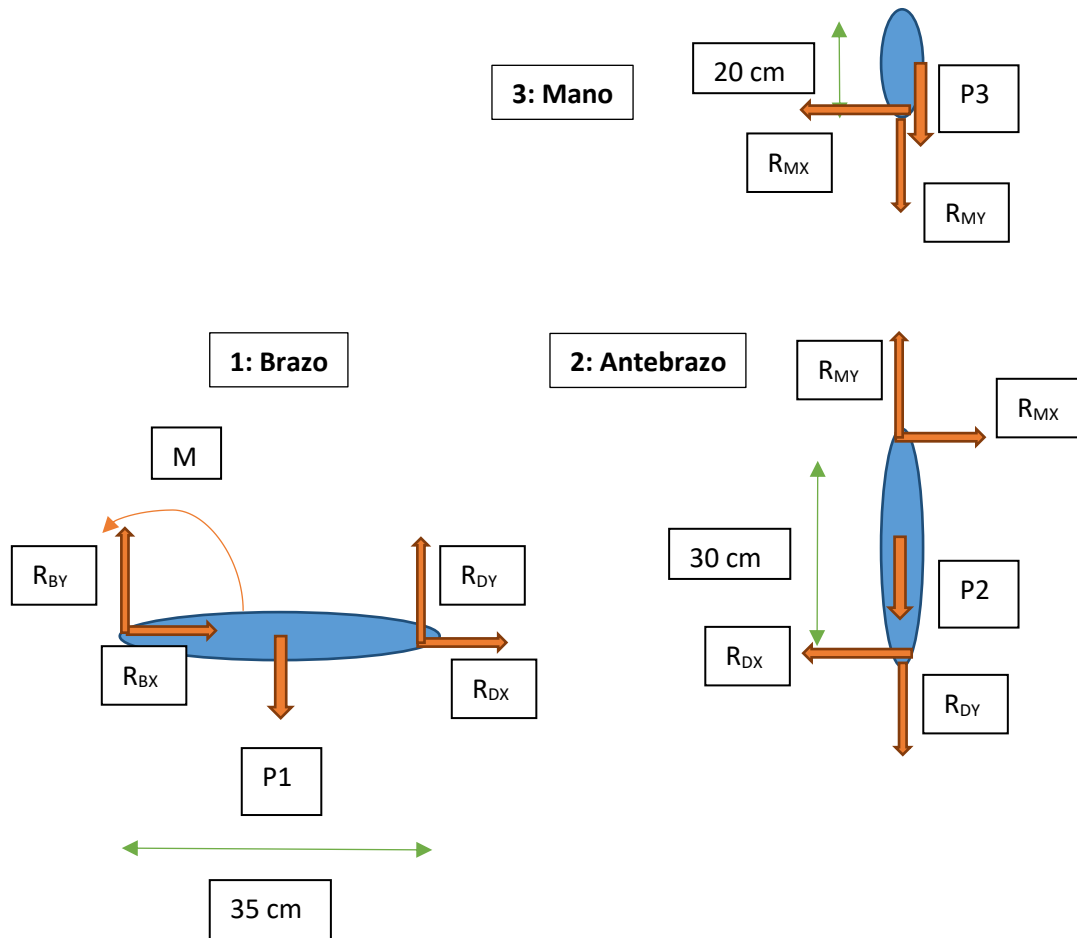
$$\Sigma M = 0; M - P1 * \frac{35}{2} \text{ cm} - (P2 + P3) * 35 \text{ cm} = 0$$

$$M = 463,05 \text{ N*cm} + 788,9 \text{ N*cm} = 1251,95 \text{ N*cm}$$

**Tabla 1.** Fuerzas y momento en brazo a 0°

0°	R <sub>BX</sub>	R <sub>BY</sub>
Fuerza (N)	0	49
Momento (N*cm)	1251,95	

Ahora se pasa a calcular cada parte del brazo en la misma posición.



**Fig. 3.** Esquema fuerzas partes brazo.

**Fuente:** Elaboración propia.

- 1

$$\Sigma F_x = 0; R_{BX} + R_{DX} = 0; R_{BX} = - R_{DX}$$

$$\Sigma F_y = 0; R_{BY} + R_{DY} - 26,46 \text{ N} = 0$$

$$\Sigma M_B = 0; - 26,46 * 17,5 \text{ N} * \text{cm} + R_{DY} * 35 \text{ cm} + M = 0$$

- **2**

$$\Sigma F_x = 0; R_{MX} - R_{DX} = 0; R_{MX} = R_{DX}$$

$$\Sigma F_y = 0; R_{MY} - R_{DY} - 15,68 \text{ N} = 0$$

- **3**

$$\Sigma F_x = 0; \mathbf{R_{MX} = 0 \text{ N}}$$

Como  $R_{MX} = 0 \text{ N}$ , entonces  $\mathbf{R_{DX} = 0 \text{ N}}$ , y  $\mathbf{R_{BX} = 0 \text{ N}}$ .

$$\Sigma F_y = 0; - R_{MY} - 6,86 \text{ N} = 0; \mathbf{R_{MY} = - 6,86 \text{ N}}$$

Obteniendo este resultado, se puede obtener  $R_{BY}$ .

$$\mathbf{R_{DY} = - 6,86 \text{ N} - 15,68 \text{ N} = - 22,54 \text{ N}}$$

Ahora se puede obtener el valor del momento "M" y  $R_{BY}$ .

$$- 26,46 * 17,5 \text{ N} * \text{cm} - 22,54 * 35 \text{ N} * \text{cm} + M = 0$$

$$\mathbf{M = 463,05 \text{ N} * \text{cm} + 788,9 \text{ N} * \text{cm} = 1251,95 \text{ N} * \text{cm} = 12,52 \text{ N} * \text{m}}$$

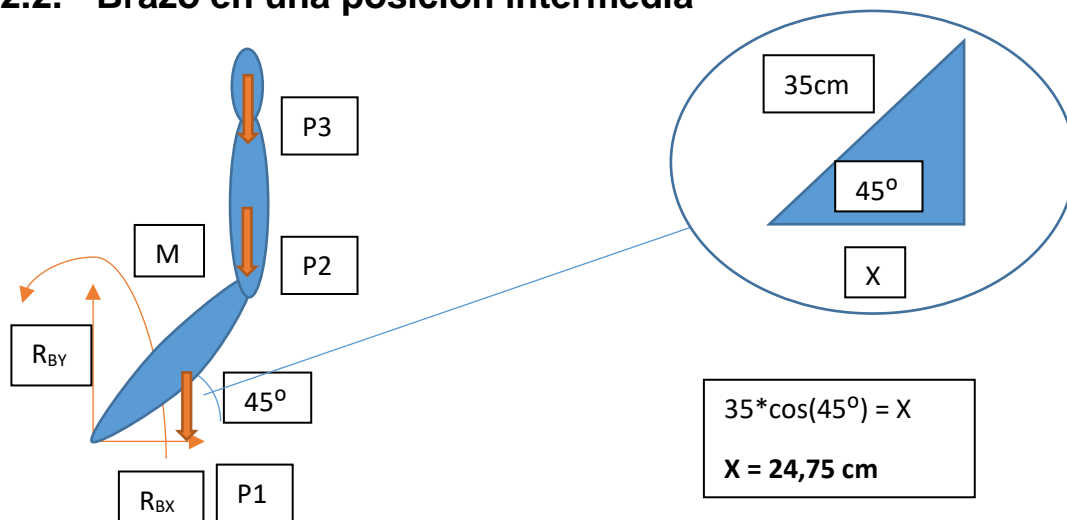
$$R_{BY} - 22,54 \text{ N} - 26,46 \text{ N} = 0; \mathbf{R_{BY} = 49 \text{ N}}$$

Por lo que se puede concluir de este estudio, es que en la articulación de la mano aparece el peso de la misma. En el caso de la articulación del codo, aparece el peso de la mano más el peso del antebrazo; y en el caso de la articulación del hombro aparece un momento de  $12,52 \text{ N} * \text{m}$  y una reacción de  $49 \text{ N}$  en el eje vertical, y sin la aparición de alguna reacción en el eje horizontal en las articulaciones. Con respecto a este momento y fuerza, será relevante reducirlos, ya que será necesario para reducir el sobreesfuerzo en el hombro.

**Tabla 2.** Fuerzas y momento partes brazo en la horizontal

Posición horizontal	R <sub>BX</sub>	R <sub>BY</sub>	R <sub>DX</sub>	R <sub>DY</sub>	R <sub>MX</sub>	R <sub>MY</sub>
Fuerza (N)	0	49	0	-22,54	0	-6,86
Momento (N*cm)	1251,95		0		0	

**2.2. Brazo en una posición intermedia**



**Fig. 4.** Esquema fuerzas brazo.

Fuente: Elaboración propia.

$$\Sigma F_x = 0; R_{BX} = 0 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0; R_{BY} - P1 - P2 - P3 = 0; R_{BY} = 49 \text{ N}$$

$$\Sigma M = 0; M - P1 * 12,37 \text{ cm} - (P2 + P3) * 24,75 \text{ cm} = 0$$

$$M = 327,31 \text{ N*cm} + 557,87 \text{ N*cm}; M = 885,18 \text{ N*cm}$$

Por lo que podemos comprobar en ambas opciones, cuando el brazo se encuentre en una posición intermedia, el momento va a ser inferior que en el momento en el que el brazo se encuentre en la horizontal con un ángulo recto, ya que aunque el brazo esté más elevado, la distancia que separa el hombro con las fuerzas del brazo es superior en el caso donde se encuentra el codo inclinado a

90°. Por lo que será interesante basarse en un estudio del brazo colocado en la horizontal, ya que es la situación más desfavorable.

**Tabla 3.** Fuerzas y momento en brazo en posición intermedia

Posición intermedia	$R_{BX}$	$R_{BY}$
Fuerza (N)	0	49
Momento (N*cm)	885,18	

### 3. CÁLCULOS EXOESQUELETO “LEVITATE”

#### 3.1. Introducción

Se parte de la base del uso de este exoesqueleto como estudio para contrarrestar las fuerzas que ejerce el brazo.

Este exoesqueleto que se va a estudiar, se simplifica al estudio en 2D. Se supone que está apoyado a la cadera del operario impidiendo el desplazamiento tanto en el eje “X” como en el eje “Y”, pero permitiendo el giro. También se propone un apoyo en la parte del hombro como sujeción que va hacia el hombro del otro brazo.

En este caso, se va a suponer que el brazo se apoya sobre el exoesqueleto. En la Fig. 5 y Fig. 6, se puede ver las fuerzas que determina el peso del brazo (Punto C), del antebrazo y de la mano (Punto D) del trabajador estudiado anteriormente, y éstas se apoyan sobre la horizontal del exoesqueleto. En el punto “B”, va a quedar el hombro del trabajador y en el punto “A” va a quedar la cadera del mismo.

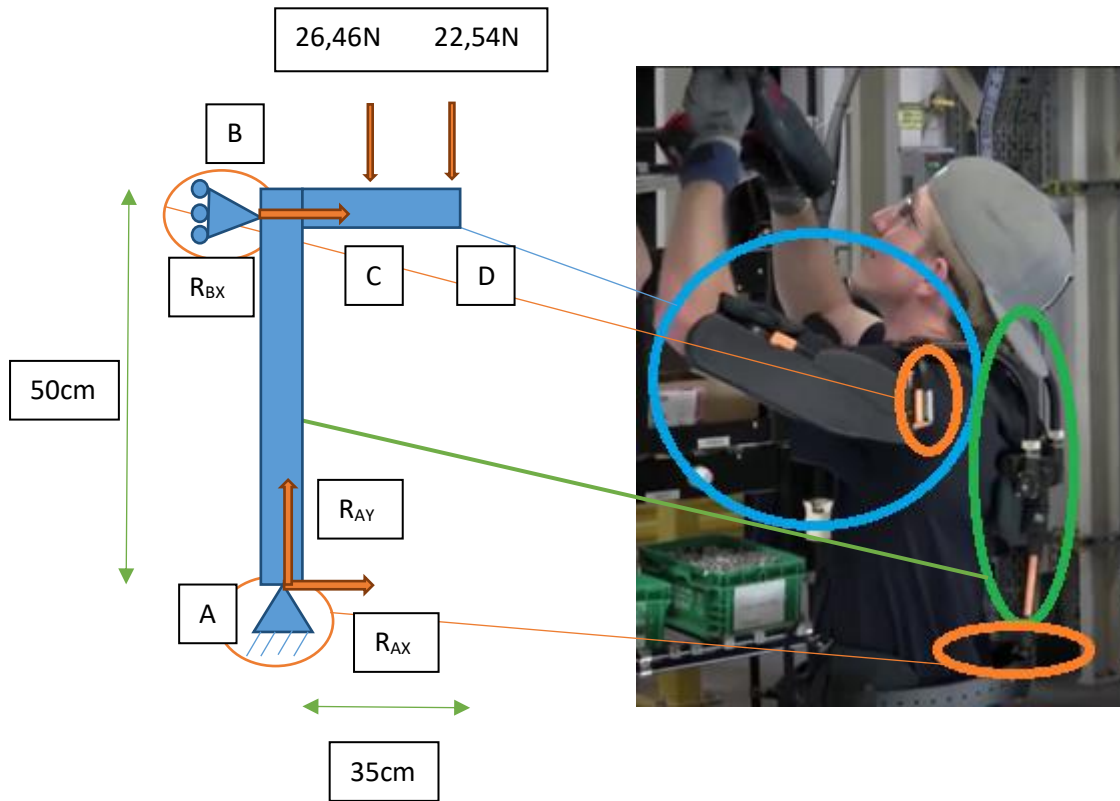


**Fig. 5.** Imagen exoesqueleto “Levitate”.

**Fuente:** <https://www.serviall.cl>

### 3.2. Exoesqueleto “Levitate” en posición horizontal

En este caso se puede observar, que en el caso real, la estructura es en 3 dimensiones, pasando la estructura cerca de la espina dorsal. En este estudio, se simplifica la estructura a 2 dimensiones. Aquí se puede observar que las fuerzas que se encuentran en la barra que sujeta el antebrazo, provienen de las fuerzas anteriormente calculadas. En el caso de los 26,26 N, es la fuerza que ejerce el peso del brazo (P1). En el caso de los 22,54 N, es la fuerza que ejerce la suma del peso del antebrazo (P2) y la mano (P3) del operario.



**Fig. 6.** Esquema aclaratorio.  
**Fuente:** Elaboración propia.

En la Fig. 6, se observa el círculo de color azul como la pieza donde el operario va a apoyar su brazo. El círculo de color verde es la estructura que va desde el hombro a la cadera. Los círculos de color naranja son los apoyos del exoesqueleto. En el caso del apoyo superior, se va poder mover de forma vertical y va a poder girar, sin embargo, no va poder moverse de forma horizontal. En el caso del apoyo inferior, comentado anteriormente, no va poder moverse ni en el eje “X” ni en el eje “Y”.

$$\Sigma F_x = 0; R_{AX} + R_{BX} = 0; R_{AX} = - R_{BX}$$

$$\Sigma F_y = 0; R_{AY} - 26,46 \text{ N} - 22,54 \text{ N} = 0; R_{AY} = 49 \text{ N}$$

$$\Sigma M_A = 0; - R_{BX} * 50 \text{ cm} - 26,46 * (35/2) \text{ N} * \text{cm} - 22,54 * 35 \text{ N} * \text{cm} = 0$$

$$R_{BX} = \frac{-463,05 \text{ N} - 788,9 \text{ N}}{50} = -25,039 \text{ N}; R_{AX} = 25,039 \text{ N}$$

**Tabla 4.** Fuerzas y momento Exoesqueleto “Levitare” en posición horizontal

Posición horizontal	$R_{AX}$	$R_{AY}$	$R_{BX}$
Fuerza (N)	25,039	49	-25,039
Momento (N*cm)	0		0



### 3.3. Exoesqueleto “Levitare” en una posición intermedia

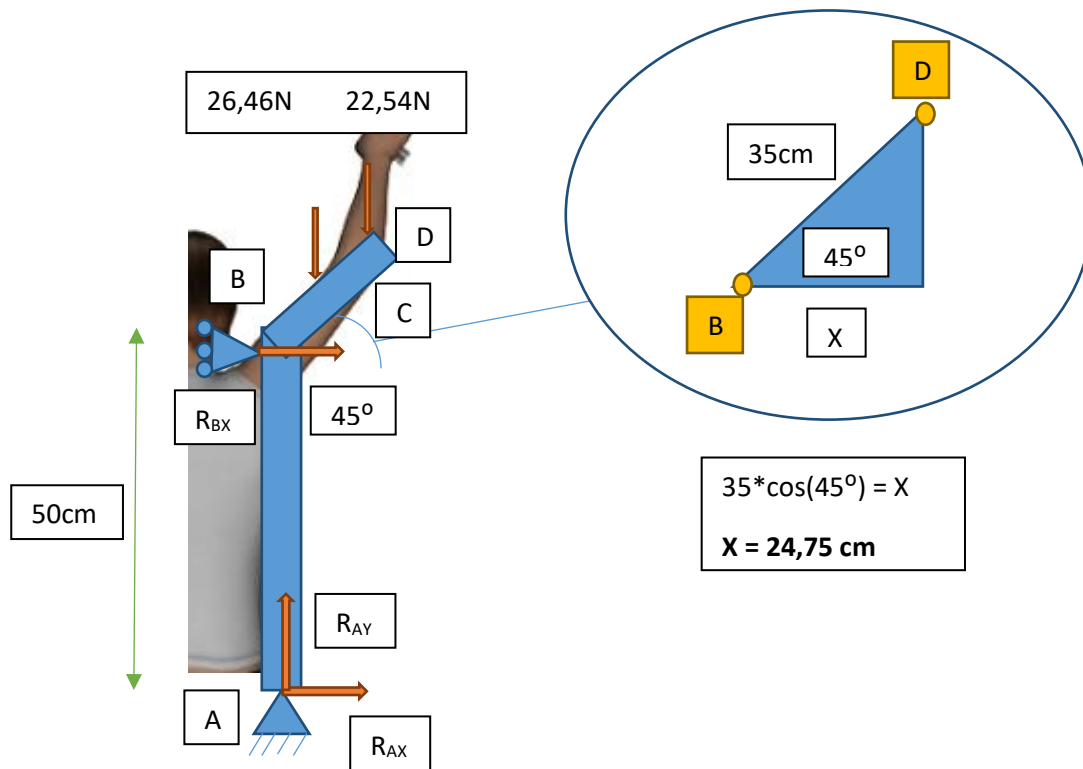


Fig. 7. Esquema fuerzas exoesqueleto “Levitare”.

Fuente: Elaboración propia.

$$\Sigma F_x = 0; R_{AX} +$$

$$R_{BX} = 0; R_{AX} = -$$

$$R_{BX}$$

$$\Sigma F_y = 0; R_{AY} - 26,46 \text{ N} - 22,54 \text{ N} = 0; R_{AY} = 49 \text{ N}$$

$$\Sigma M_A = 0; - R_{BX} * 50 \text{ cm} - 26,46 * (24,75/2) \text{ N} * \text{cm} - 22,54 * 24,75 \text{ N} * \text{cm} = 0$$

$$R_{BX} = \frac{-327,31 \text{ N} - 557,865 \text{ N}}{50} = -17,7 \text{ N}$$

$$R_{AX} = 17,7 \text{ N}$$

Tabla 5. Fuerzas y momento Exoesqueleto “Levitare” en una posición intermedia

Posición intermedia	R <sub>AX</sub>	R <sub>AY</sub>	R <sub>BX</sub>
Fuerza (N)	17,7	49	-17,7
Momento (N*cm)	0	0	0

De este estudio, cabe destacar que las fuerzas de la tabla 4 y 5 que actúan a la altura de la cadera del trabajador, son iguales en el caso del eje vertical, pero cambian con respecto al eje de las "X". En el caso de tener el brazo en una posición intermedia, las fuerzas son inferiores al momento en el que se encuentra en la horizontal. Por eso, va a ser determinante el estudio donde se encuentra el brazo sobre la horizontal con un ángulo recto, ya que será más desfavorable.

Con respecto al estudio anterior, donde se calculan los pesos y momentos del brazo sin exoesqueleto, hay que destacar que en este caso aparece una fuerza horizontal en el punto "B", pero se reduce el peso que soporta el hombro en la vertical. Aun así, la fuerza en la cadera sigue siendo la misma que la anterior.

### 3.4. Exoesqueleto "Levitare" por partes en posición horizontal

Ahora se estudiará la figura anterior por separado para ver lo que ocurre tanto en la articulación del exoesqueleto como lo que ocurre en el apoyo inferior del mismo.

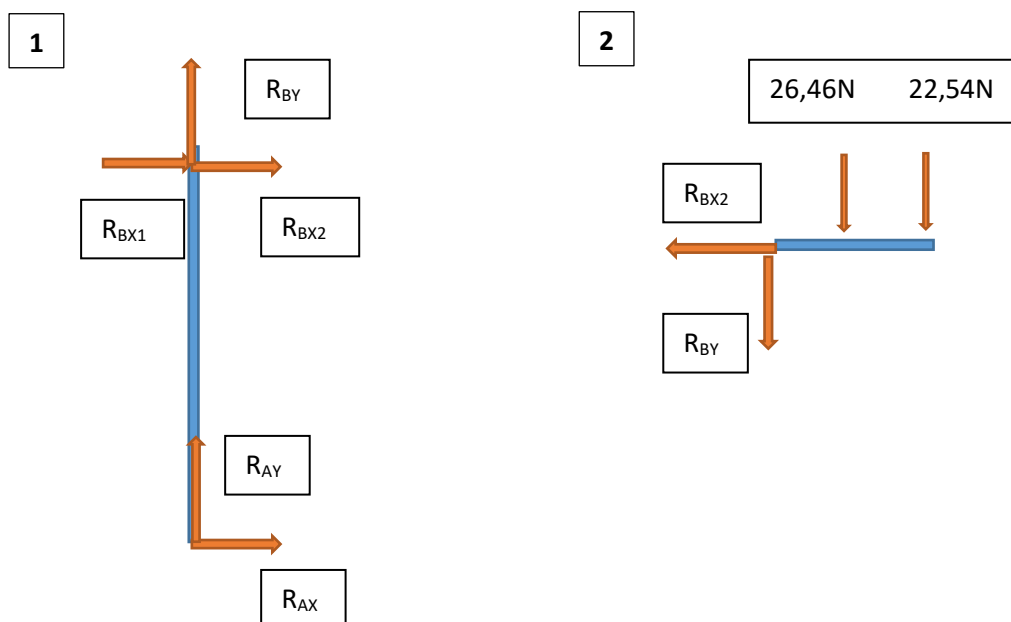


Fig. 8. Esquema fuerzas partes exoesqueleto "Levitare".

Fuente: Elaboración propia.

- 1

$$\Sigma F_x = 0; R_{AX} + R_{BX1} + R_{BX2} = 0$$

$$\Sigma F_y = 0; R_{AY} + R_{BY} = 0; R_{AY} = - R_{BY}$$

- 2

$$\Sigma F_x = 0; R_{BX2} = 0 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0; - R_{BY} - 26,46 \text{ N} - 22,54 \text{ N} = 0; R_{BY} = - 49 \text{ N}; R_{AY} = 49 \text{ N}$$

$$\Sigma M_A = 0; - R_{BX1} * 50\text{cm} - R_{BX2} * 50\text{cm} = 0; R_{BX1} = 0 \text{ N}; R_{AX} = 0 \text{ N}$$

**Tabla 6.** Fuerzas y momento partes Exoesqueleto “Levitare” posición horizontal

Ángulo recto	R <sub>AX</sub>	R <sub>AY</sub>	R <sub>BX1</sub>	R <sub>BX2</sub>	R <sub>BY</sub>
Fuerza (N)	0	49	0	0	-49
Momento (N*cm)	0		0		

Por lo que se puede determinar del estudio que hay una fuerza de 49 N en la articulación que se contrarresta con el otro elemento que lo sujeta, debido a que se traslada al apoyo inferior. En este apoyo no se produce ninguna fuerza en el eje de las “X”, sino simplemente se produce una fuerza de 49 N en positivo para contrarrestar la que traslada la articulación. Para que esto ocurra es necesario un momento en la articulación nula.

Este estudio es mejor que en el caso anterior, pues sólo produce una fuerza en vertical en la cadera, y no presenta una fuerza en horizontal, por lo que se podría buscar una forma de sujetarlo al suelo directamente para que en vez de trasladar esa fuerza a la cadera, la dirija directamente al suelo. Aunque en este caso, no es imprescindible, pues sólo está aguantando 5kg. Según la Guía Técnica de Manipulación Manual de Cargas realizada al amparo del RD 487/1997, no supera ni siquiera la carga mínima estipulada (15kg). Por lo que sería factible para este caso, en el que no se ha añadido ningún peso extra.

## 4. ESTUDIO DEFORMACIÓN DE LA TIBIA

Ahora, obteniendo estos resultados, se va a proceder a calcular cuánto se va deformar la tibia, y el esfuerzo sobre la misma, ya que le afecta más a este hueso que al fémur. La tibia en su extremo distal está poco irrigada porque en su tercio inferior hay poca musculatura. Para este caso, se propondrá una tabla donde se visualiza las propiedades mecánicas del hueso [17].

*Tabla 1.1.1: Propiedades mecánicas del hueso*

Propiedad	Hueso Cortical		Hueso Trabecular
	Transversal	Longitudinal	
Resistencia en compresión (MPa)	106-133	167-213	50
Resistencia en tracción (MPa)	51-56	78-150	8
Módulo de Young	6-13	14.5-34.3	0.05-0.4

El hueso cortical es aquel que se le denomina también hueso compacto, es muy denso y forma el 80% de la masa de nuestro esqueleto [18]. El hueso trabecular es un sistema de puntales interconectados orientados para darle la máxima fuerza al hueso empleando poca masa. Cada “puntal” es una trabécula [19].

El esfuerzo normal es un esfuerzo interno o resultante de las tensiones perpendiculares a la sección transversal de un prisma mecánico. Ahora se pasará al estudio del esfuerzo, que viene representado de la siguiente forma:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Donde “F” será la fuerza a compresión que recibe el hueso, y “A” será el área superficial del hueso. En este caso, si la persona pesa 70 kg (686 N), si le sumamos los 49 N de peso (los 5 kg antes mencionados), entonces:

$$F = 686+49=735 \text{ N}$$

El área vendrá determinado por la siguiente ecuación:

$$A = \pi r^2 \quad (2)$$

Donde “r” es el radio del hueso.

En este caso, supondremos un radio medio de la tibia de 2 cm. Entonces, el área será:

$$A = \pi * (0,02m)^2 = 0,00126 \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{735 \text{ N}}{0,00126 \text{ m}^2} = 0,583 \text{ MPa} < 50 \text{ MPa}, \text{ por lo que aguantaría sin ningún problema.}$$

Ahora se procederá al cálculo de su deformación, que es el cambio que sufre un cuerpo tras haberle aplicado una serie de fuerzas externas, como tensión o compresión, que producen la variación de su tamaño o forma natural. La deformación viene determinada por la siguiente ecuación:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (3)$$

Donde “E” es el módulo de Young, donde asumiremos que dicho módulo en la tibia será del valor de 18 GPa.

Entonces, la deformación será:

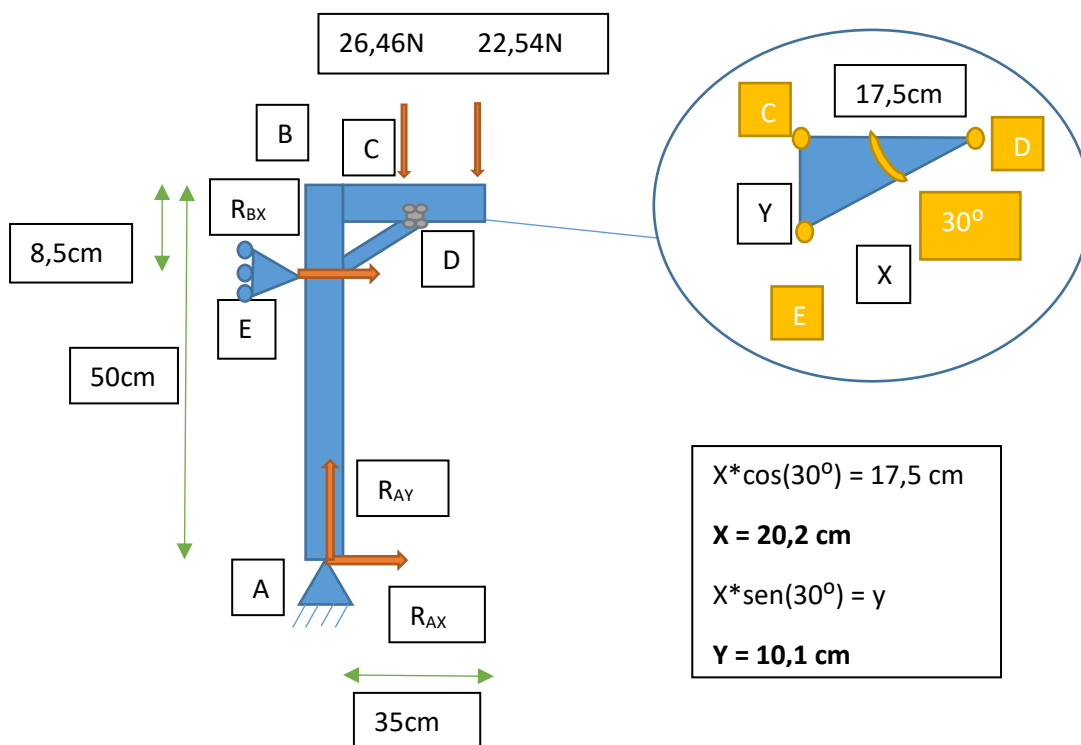
$$\epsilon = \frac{0,583 * 10^6}{18 * 10^9} = 32,4 * 10^{-6} = 0,00324\%$$

Esta deformación es muy pequeña y aparte se considera una deformación elástica, pues la tensión es inferior a la admisible y por lo tanto, no llega a deformarse plásticamente. Por lo que el hueso no presentará ningún tipo de fractura, ya que el esfuerzo de compresión es muy inferior a los límites.

## 5. OPCIONES DE DISEÑO EXOESQUELETO

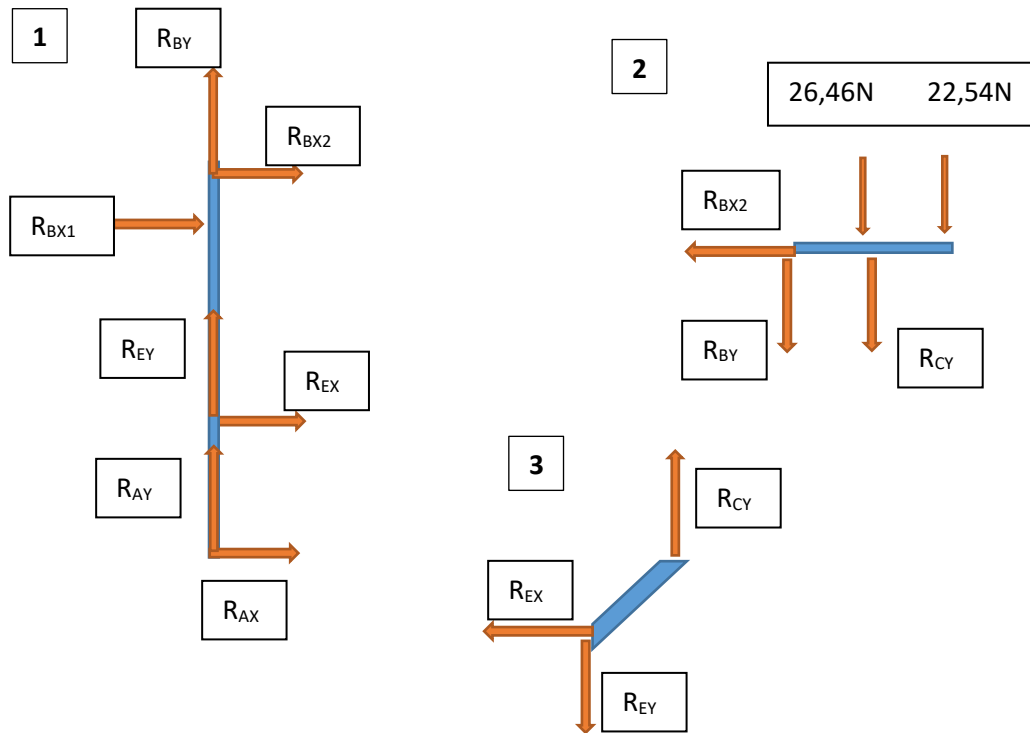
### 5.1. Opción 1.1. Barra deslizante (30°)

Se estudiará una solución para el caso más desfavorable, que en este caso será cuando el brazo se encuentra a 90° del cuerpo, ya que produce un mayor momento que cuando se eleva.



**Fig. 9.** Esquema fuerzas exoesqueleto con barra deslizante 30°.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Fig. 10.** Esquema fuerzas partes exoesqueleto con barra deslizable  $30^\circ$ .

**Fuente:** Elaboración propia.

• 1

$$\Sigma F_x = 0; R_{AX} + R_{BX1} + R_{BX2} + R_{EX} = 0$$

$$\Sigma F_y = 0; R_{AY} + R_{BY} + R_{EY} = 0$$

$$\Sigma M_A = 0; -R_{BX1} * 41,5\text{cm} - R_{BX2} * 50\text{cm} - R_{EX} * (50 - 10,1)\text{cm} = 0$$

• 2

$$\Sigma F_x = 0; R_{BX2} = 0 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0; -R_{BY} - R_{CY} - 26,46\text{N} - 22,54\text{N} = 0$$

$$\Sigma M_B = 0; -26,46 * 17,5\text{N} * \text{cm} - 22,54 * 35\text{N} * \text{cm} - R_{CY} * 17,5\text{cm} = 0$$

$$R_{CY} = -\left(\frac{463,05 + 788,9}{17,5}\right) = -71,54 \text{ N}$$

$$R_{BY} = -R_{CY} - 26,46\text{N} - 22,54\text{N}$$

$$R_{BY} = 71,54\text{N} - 49\text{N} = 22,54 \text{ N}$$

• 3

$$\Sigma F_x = 0; R_{EX} = 0 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0; R_{CY} - R_{EY} = 0$$

$$R_{CY} = R_{EY} = -71,54 \text{ N}$$

Teniendo estos resultados, podemos obtener las reacciones  $R_{BX1}$ ,  $R_{AX}$  y  $R_{AY}$ .

Como  $R_{BX2} = 0 \text{ N}$  y  $R_{EX} = 0 \text{ N}$ , entonces del momento en el punto A, se puede obtener que:

$$R_{BX1} = 0 \text{ N}$$

Como  $R_{BX1} = 0 \text{ N}$ ,  $R_{BX2} = 0 \text{ N}$  y  $R_{EX} = 0 \text{ N}$ , entonces obtenemos que:

$$R_{AX} = 0 \text{ N}$$



Como  $R_{BY} = 22,54 \text{ N}$  y  $R_{EY} = -71,54 \text{ N}$ , entonces obtenemos que:

$$R_{AY} + R_{BY} + R_{EY} = 0; R_{AY} + 22,54 \text{ N} - 71,54 \text{ N} = 0; R_{AY} = 49 \text{ N}$$

**Tabla 7.** Fuerzas y momento partes Exoesqueleto con barra deslizable a  $30^\circ$

Barra deslizable $30^\circ$	$R_{AX}$	$R_{AY}$	$R_{BX1}$	$R_{BX2}$	$R_{BY}$	$R_{CY}$	$R_{EX}$	$R_{EY}$
Fuerza (N)	0	49	0	0	22,54	-71,54	0	-71,54
Momento (N*cm)	0		0		0	0	0	

En la articulación del hombro se reduce la fuerza en vertical debido a que se añade un nuevo elemento (barra deslizable). Al existir un apoyo en la barra horizontal (punto "C") y en la barra vertical (punto "E") se reparten las fuerzas de manera equilibrada. Con respecto al exoesqueleto "*Levitare*", éste no tiene ninguna fuerza en el eje horizontal.

A diferencia que en el caso anterior, se produce una disminución de la fuerza en el punto "B" (49 N), encontrándose en esta propuesta a 22,54 N.

Sin embargo, sigue permaneciendo la misma fuerza vertical en la cadera, aunque esto no supone ningún esfuerzo relevante por lo estudiado anteriormente.

## 5.2. Opción 1.2. Barra deslizable ( $45^\circ$ )

Se va a representar el mismo caso anterior, pero simplemente cambiando el ángulo de la barra diagonal que sujeta el brazo.

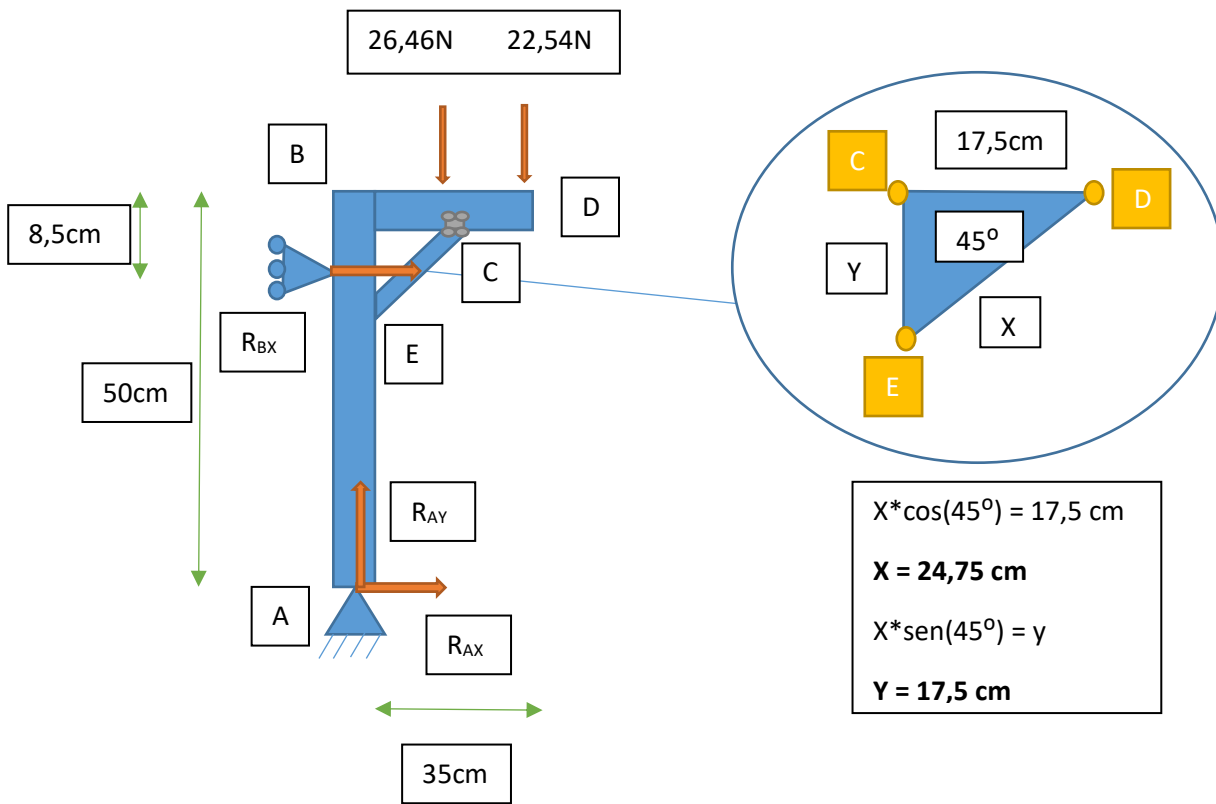


Fig. 11. Esquema fuerzas exoesqueleto con barra deslizable 45°.

Fuente: Elaboración propia.

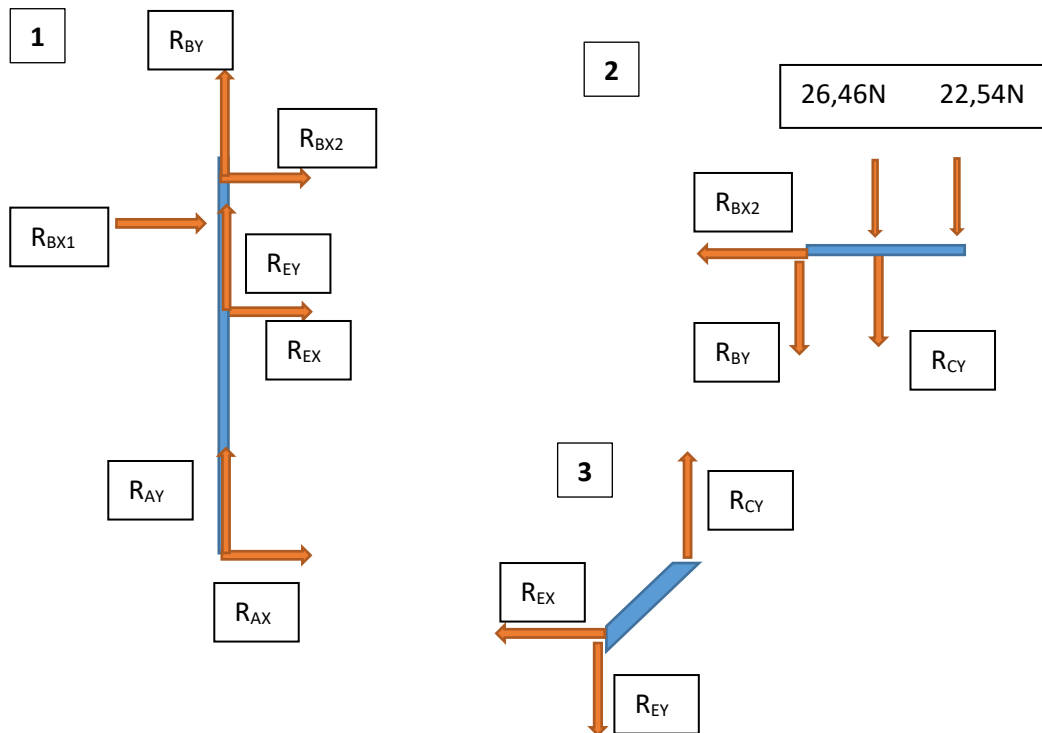


Fig. 12. Esquema fuerzas partes exoesqueleto con barra deslizable 45°.

Fuente: Elaboración propia.

• 1

$$\Sigma F_x = 0; R_{AX} + R_{BX1} + R_{BX2} + R_{EX} = 0$$

$$\Sigma F_y = 0; R_{AY} + R_{BY} + R_{EY} = 0$$

$$\Sigma M_A = 0; -R_{BX1} * 41,5\text{cm} - R_{BX2} * 50\text{cm} - R_{EX} * (50 - 17,5)\text{cm} = 0$$

• 2

$$\Sigma F_x = 0; R_{BX2} = 0 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0; -R_{BY} - R_{CY} - 26,46\text{N} - 22,54\text{N} = 0$$

$$\Sigma M_B = 0; -26,46 * 17,5\text{N} * \text{cm} - 22,54 * 35\text{N} * \text{cm} - R_{CY} * 17,5\text{cm} = 0$$

$$R_{CY} = -\left(\frac{463,05 + 788,9}{17,5}\right) = -71,54 \text{ N}$$

$$R_{BY} = - R_{CY} - 26,46N - 22,54N; R_{BY} = 71,54N - 49N = \mathbf{22,54 N}$$

• **3**

$$\Sigma F_x = 0; R_{EX} = \mathbf{0 N}$$

$$\Sigma F_y = 0; R_{CY} - R_{EY} = 0; R_{CY} = R_{EY} = \mathbf{-71,54 N}$$

Teniendo estos resultados, podemos obtener las reacciones  $R_{BX1}$ ,  $R_{AX}$  y  $R_{AY}$ .

Como  $R_{BX2} = 0 N$  y  $R_{EX} = 0 N$ , entonces del momento en el punto A, se puede obtener que:

$$R_{BX1} = \mathbf{0 N}$$

Como  $R_{BY} = 22,54 N$  y  $R_{EY} = -71,54 N$ , entonces obtenemos que:

$$R_{AY} + R_{BY} + R_{EY} = 0$$

$$R_{AY} + 22,54N - 71,54 N = 0$$

$$R_{AY} = \mathbf{49 N}$$

Como  $R_{BX1} = 0 N$ ,  $R_{BX2} = 0 N$  y  $R_{EX} = 0 N$ , entonces obtenemos que:

$$R_{AX} = \mathbf{0 N}$$

**Tabla 8.** Fuerzas y momento partes Exoesqueleto con barra deslizable a 45°

Barra deslizable 45°	$R_{AX}$	$R_{AY}$	$R_{BX1}$	$R_{BX2}$	$R_{BY}$	$R_{CY}$	$R_{EX}$	$R_{EY}$
Fuerza (N)	0	49	0	0	22,54	-71,54	0	-71,54
Momento (N*cm)	0		0		0	0	0	

Obteniendo estos resultados, se puede comparar con el caso anterior no afectando el ángulo en el que ésta se encuentra. En dicho caso, la barra se encontraba a 30° y en éste se encuentra a 45°. Los resultados son iguales, ya que no se obtiene ninguna fuerza horizontal en este punto.

Esto se puede aclarar en la barra "3", debido a que hay una fuerza en el eje X que no se ve contrarrestada por otra, ya que en el punto D es un apoyo deslizable. Todo esto se resume en que sólo actúan las fuerzas en el eje vertical, y por ello, los resultados serán iguales en ambos casos.

### 5.3. Opción 2. Resorte de torsión (90°)

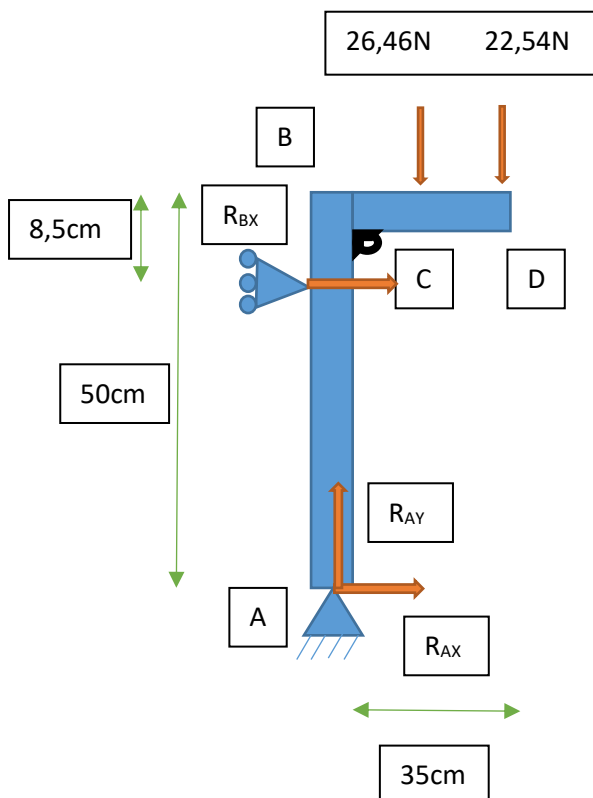


Fig. 13. Esquema fuerzas exoesqueleto con Resorte de torsión.

Fuente: Elaboración propia.

Para que el momento en la articulación sea 0 y suponiendo que no hay giro, entonces:

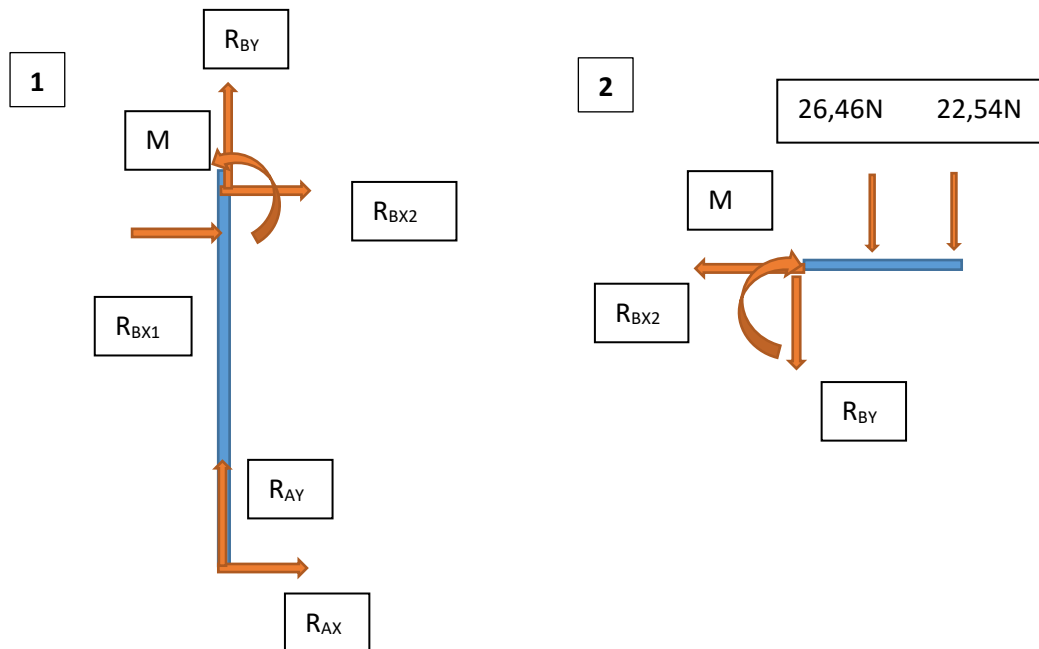


Fig. 14. Esquema fuerzas partes exoesqueleto con Resorte de torsión.

Fuente: Elaboración propia.

• 1

$$\Sigma F_x = 0; R_{AX} + R_{BX1} + R_{BX2} = 0$$

$$\Sigma F_y = 0; R_{AY} + R_{BY} = 0; R_{AY} = - R_{BY}$$

$$\Sigma M_A = 0; - R_{BX1} * 41,5\text{cm} - R_{BX2} * 50\text{cm} + M = 0$$

• 2

$$\Sigma F_x = 0; R_{BX2} = 0 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0; - R_{BY} - 26,46 \text{ N} - 22,54 \text{ N} = 0; R_{BY} = - 49 \text{ N}; R_{AY} = 49 \text{ N}$$

$$\Sigma M_D = 0; -M + 26,46 * 17,5\text{N} * \text{cm} + R_{BY} * 35\text{N} * \text{cm} = 0$$

$$M = +463,05\text{N} * \text{cm} - 1715\text{N} * \text{cm}; M = -1251,95 \text{ N} * \text{cm} = -12,52 \text{ N} * \text{m}$$

Como  $R_{BX2} = 0 \text{ N}$ , y  $M = -1251,95 \text{ N}\cdot\text{cm}$ , entonces obtenemos  $R_{BX1}$  de la pieza 1:

$$- R_{BX1} \cdot 41,5 \text{ cm} - 1251,95 \text{ N}\cdot\text{cm} = 0; \quad R_{BX1} = -30,17 \text{ N}$$

Como  $R_{BX1} = -30,17$ ,  $R_{BX2} = 0$ , entonces obtenemos que:  $R_{AX} = 30,17 \text{ N}$

**Tabla 9.** Fuerzas y momento partes Exoesqueleto con resorte de torsión

Resorte de torsión	$R_{AX}$	$R_{AY}$	$R_{BX1}$	$R_{BX2}$	$R_{BY}$
Fuerza (N)	30,17	49	-30,17	0	-49
Momento (N*cm)	0		-1251,95		

Hay resortes a la venta con una fuerza de torsión que se aproxima a la calculada, reflejados en el Anexo II, pero éstos sirven para disminuir el par en el hombro [20]. Como se menciona anteriormente, del Anexo II se extraerá el resorte “LTR135T 07”, hecho de cable de acero elástico, de la compañía “Lee Spring Muelles”. Éste tiene una fuerza de torsión de  $700,5 \text{ N}\cdot\text{cm}$ , por lo que reduce en más de la mitad el par en el hombro.

**Tabla 10.** Fuerzas y momento diferentes Exoesqueletos.

Opciones Exoesqueletos		$R_{AX}$	$R_{AY}$	$R_{BX1}$	$R_{BX2}$	$R_{BY}$	$R_{CY}$	$R_{EX}$	$R_{EY}$
Exoesqueleto Levitate	Fuerza (N)	0	49	0	0	-49	-	-	-
	Momento (N*cm)	0		0			-	-	
Barra deslizable 30°	Fuerza (N)	0	49	0	0	22,54	-71,54	0	-71,54
	Momento (N*cm)	0		0			0	0	
Barra deslizable 45°	Fuerza (N)	0	49	0	0	22,54	-71,54	0	-71,54
	Momento (N*cm)	0		0			0	0	
Resorte de torsión	Fuerza (N)	30,17	49	-30,17	0	-49	-	-	
	Momento (N*cm)	0		-1251,95			-	-	

En la tabla 10, se puede ver que el exoesqueleto con la barra deslizante, tanto a  $30^\circ$  como a  $45^\circ$ , es aceptable. También lo es la opción 2, ya que el resorte puede reducir bastante el par en el hombro. Además, esta última es la que se someterá al estudio, ya que tiene varias variantes con respecto al resorte que se introduzca y es un sistema más sencillo que la opción 1.

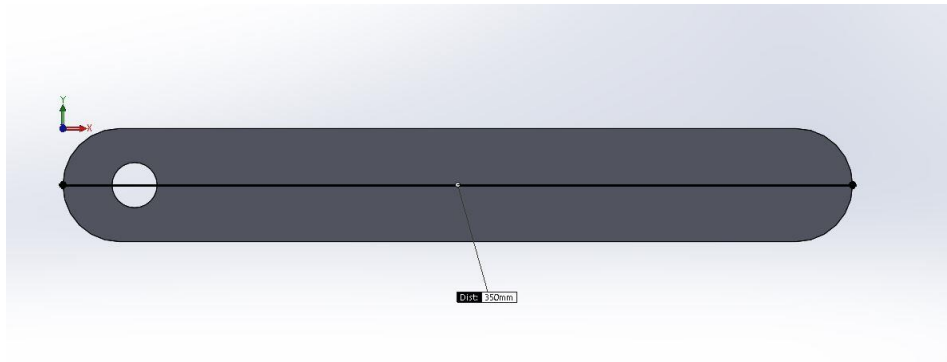
Haciendo referencia al exoesqueleto con resorte de torsión, se hará cálculos de la flexión que se produce en la barra que sujeta el brazo. Primero, calculándolo para una barra de acero y después para una barra de aluminio. También se calculará a continuación, el pandeo en la barra vertical para ambos materiales anteriormente descritos.

Al elegir los materiales, el acero aleado tendrá un módulo elástico de  $2,1 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$  y un límite elástico de  $6,2 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ . En el caso del aluminio, se elegirá la aleación 1060, donde el módulo elástico es de  $6,9 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$  y el límite elástico es de  $2,76 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ .

## 6. ESTUDIO DE FLEXIÓN

Primero se determinará una tensión admisible, donde se elegirá un 50% del límite elástico. En el caso del acero aleado, la tensión admisible será de  $3,1 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ . Para la aleación de aluminio 1060, la tensión admisible será de  $1,38 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ .

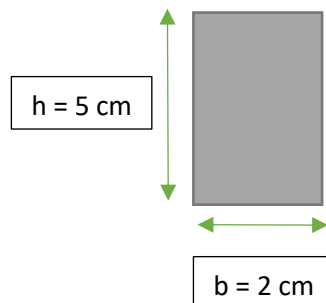




**Fig. 15.** Alzado Brazo Exoesqueleto

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Fig. 13, se puede observar el brazo del exoesqueleto que se está estudiando, donde su longitud va a ser de 35 cm. El estudio se va a simplificar a una barra maciza con sección rectangular.



**Fig. 16.** Sección Brazo Exoesqueleto

**Fuente:** Elaboración propia.

Se va a calcular ahora la tensión, que viene definida por la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{M}{I} * y \quad (4)$$

Donde  $y = h/2$ ,  $M = 1251,95 \text{ N/cm}^2$  y  $I = \frac{b \cdot h^3}{12}$

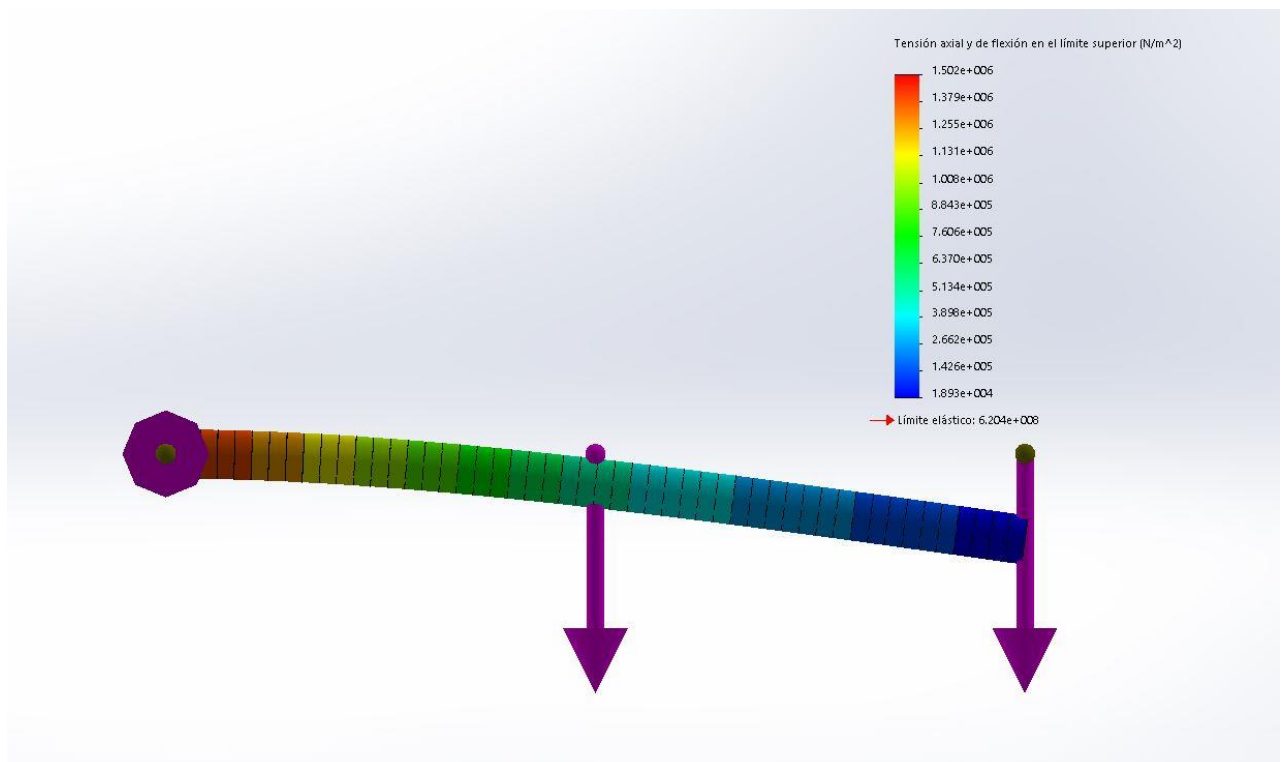
Por lo que,  $I = \frac{2 \cdot 5^3}{12} = 20,83 \text{cm}^4$ .

$\sigma = \frac{1251,95 \text{Ncm} \cdot 2,5 \text{cm}}{20,83 \text{cm}^4} = 150,3 \text{N/cm}^2 = 1,5 \cdot 10^6 \text{N/m}^2 < \sigma_{\text{adm}}$  tanto del acero aleado como de la aleación de aluminio 1060, por lo que los dos materiales van a ser favorables para el estudio de flexión.

$$\sigma_{\text{adm}} (\text{acero}) = 3,1 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{\text{adm}} (\text{aluminio}) = 1,38 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

A continuación, se comparan estos resultados de flexión con los obtenidos en *SolidWorks*. En la Fig. 17, se puede observar que coincide el valor con el calculado anteriormente, poniendo como un punto de apoyo fijo en el extremo izquierdo, donde se sitúa el apoyo con la barra vertical, y se reproduce el momento que generan las dos fuerzas verticales.



**Fig. 17.** Estudio flexión *SolidWorks*

**Fuente:** Elaboración propia.

Sabiendo que la tensión es proporcional a la deformación, ahora se pasa a calcular la deformación en esta barra.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (5)$$

Donde  $\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0}$ ;  $l_0 = 35 \text{ cm}$

Para el caso del acero aleado:

$$\varepsilon = \frac{1,5 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2}{2,1 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2} = 7,14 \cdot 10^{-6} = 0,000714\%$$

Para el caso de la aleación de aluminio 1060:

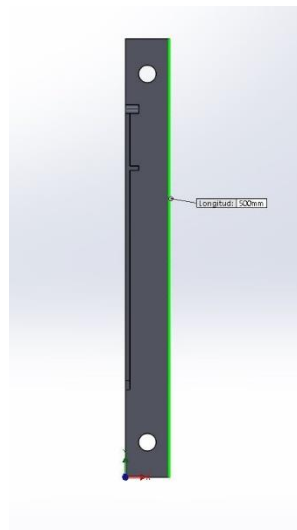
$$\varepsilon = \frac{1,5 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2}{6,9 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2} = 21,74 \cdot 10^{-6} = 0,002174\%$$

Para ambos materiales, esta deformación es muy pequeña y no presenta ningún problema, ya que es una deformación elástica.

## 7. ESTUDIO DE PANDEO

El pandeo es una inestabilidad elástica que se manifiesta por la aparición de un desplazamiento transversal a la dirección principal de compresión de una barra. En este caso se va a ver si la carga que actúa sobre la barra de manera vertical es inferior a la carga crítica, debido a que será en la carga crítica donde empiece a pandear. Para ello, se necesita: el módulo elástico de los materiales a estudiar (acero aleado y aleación de aluminio 1060), el menor momento de inercia de la sección, pandeando la columna hacia el lado de menor sección; y la longitud de la barra. Para el cálculo de la carga crítica se partirá de la siguiente ecuación:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{L^2} \quad (6)$$



**Fig. 18.** Alzado Barra Vertical Exoesqueleto

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Fig. 18, se puede ver la barra vertical del exoesqueleto que va desde la cadera hacia la barra que sujetará el brazo del operario. Su longitud será de 50 cm de largo y el estudio, al igual que en el caso del cálculo de la flexión, se va a simplificar el estudio a una barra maciza rectangular.

En la Fig. 16, se puede observar la sección de la barra, ya que es igual que la barra que sujeta el brazo. Por lo que la inercia mínima será:

$$I_{\min} = \frac{h \cdot b^3}{12} \quad (7)$$

$$I_{\min} = \frac{5 \cdot 2^3}{12} = 3,33 \text{ cm}^4$$

Teniendo la inercia mínima, la longitud y el módulo elástico de cada material, se puede obtener la carga crítica.

- Acero Aleado

$$E = 2,1 * 10^{11} N/m^2$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 2,1 * \frac{10^7 N}{cm^2} * 3,33 cm^4}{(50 cm)^2} = 2,76 * 10^5 N > 49 N = R_{BY}$$

Por lo que para el acero aleado, la carga crítica es superior a la carga que se tenía anteriormente.

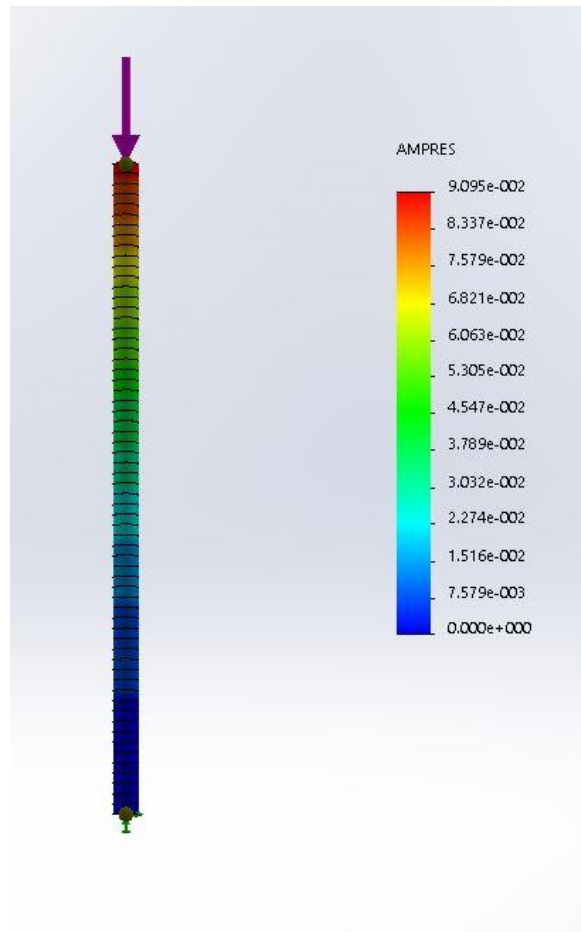
- Aleación de Aluminio 1060

$$E = 6,9 * 10^{10} N/m^2$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 6,9 * \frac{10^6 N}{cm^2} * 3,33 cm^4}{(50 cm)^2} = 9,07 * 10^4 N > 49 N = R_{BY}$$

Por lo que para la aleación de aluminio 1060, también es favorable, debido a que la carga que se obtiene en el hombro ( $R_{BY}$ ) es inferior a la carga crítica.

En la siguiente figura (Fig. 19) se puede contemplar la amplitud de la barra estudiada a pando en *SolidWorks*, los cuales son valores muy pequeños de amplitud comparados con la sección transversal que es la que permite que la teoría de la elasticidad sea aplicable. En el extremo inferior se fija la pieza, pero en el extremo superior queda libre, lo que la pieza expone el efecto de la acción de una fuerza en la dirección longitudinal.



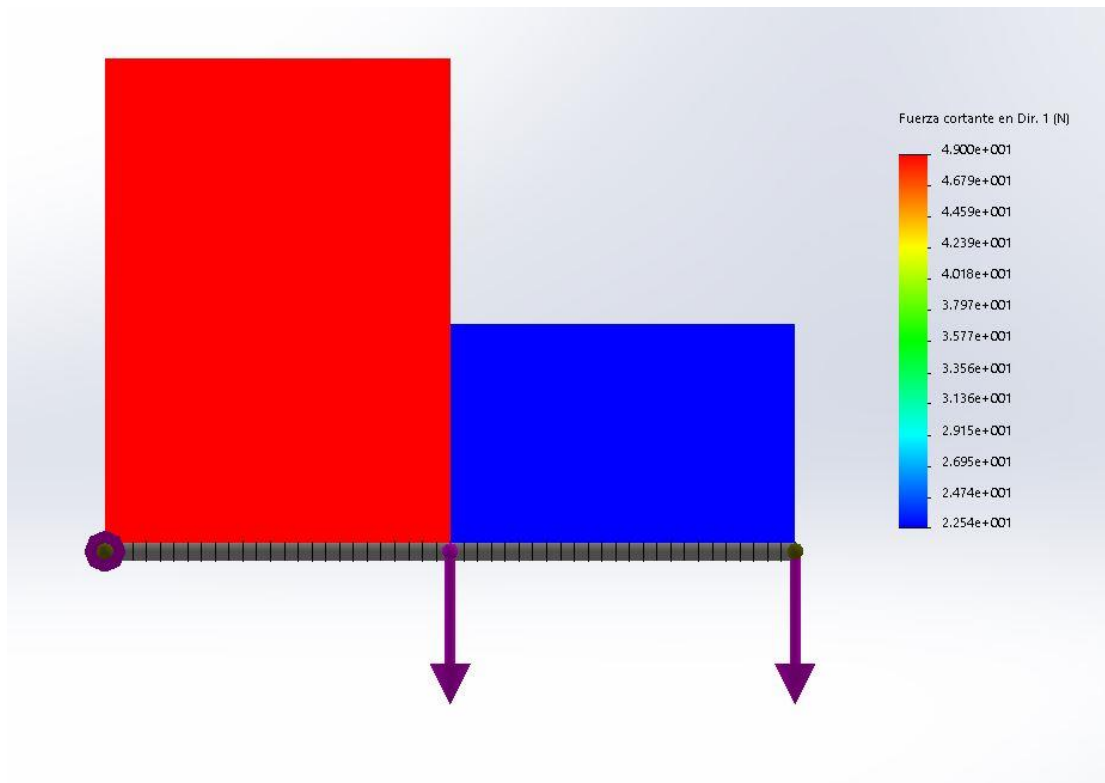
**Fig. 19.** Barra Vertical Exoesqueleto Pandeo *SolidWorks*

**Fuente:** Elaboración propia.

## 8. DIAGRAMAS MOMENTO FLECTOR Y FUERZA CORTANTE

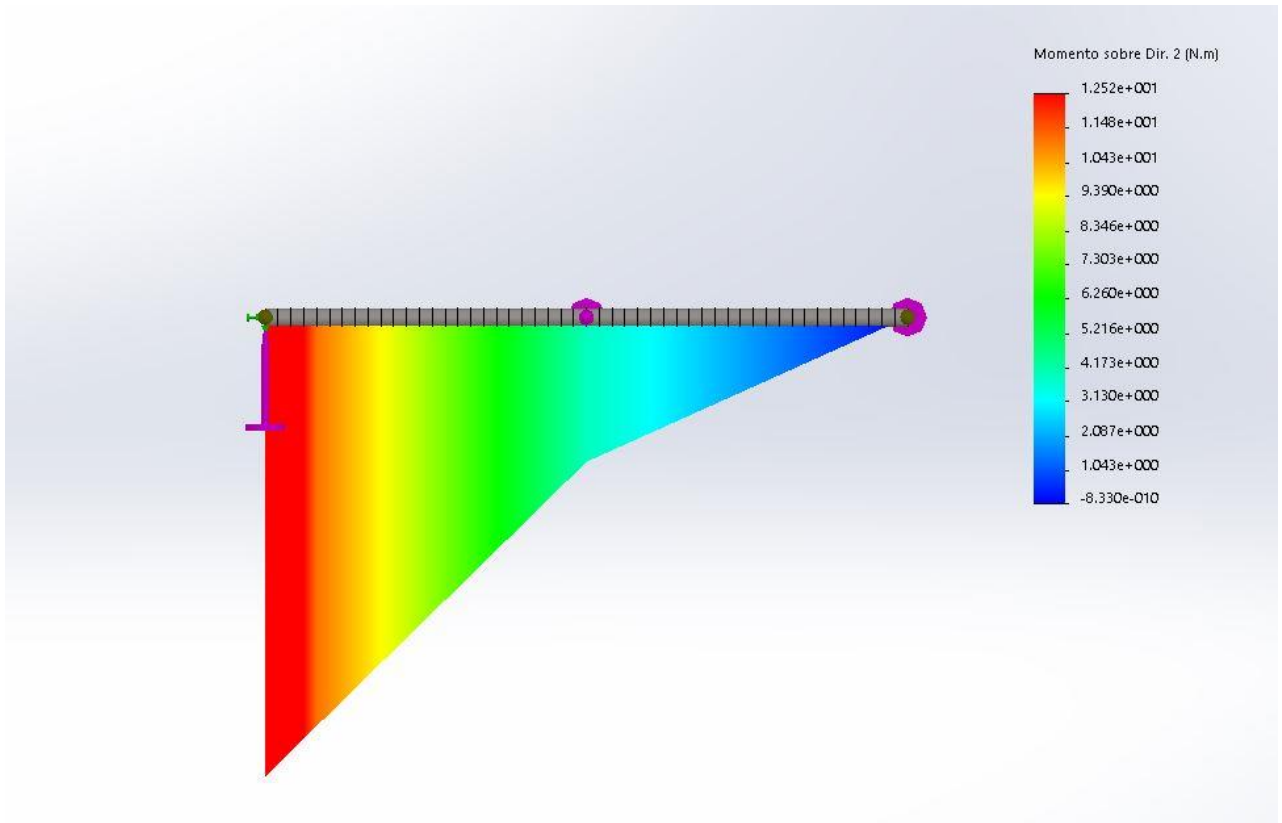
En este apartado se expondrán los diagramas de momento flector y de fuerza cortante de la barra del brazo que se ha estudiado a flexión en el apartado 6. Por un lado, en la siguiente figura (Fig. 20) se expone el diagrama de fuerza cortante, el cual presenta un aumento desde el extremo de la barra del brazo hacia el hombro.

Esto es debido a que el hombro soportará todo el esfuerzo que se está produciendo en el brazo, concluyendo los resultados que se han expuestos anteriormente en los cálculos de cómo se distribuyen las fuerzas en los diferentes puntos estudiados del exoesqueleto.



**Fig. 20.** Diagrama fuerza cortante *SolidWorks* Barra horizontal  
**Fuente:** Elaboración propia.

Por otro lado, se presenta el diagrama de momento flector en el hombro en la siguiente figura (Fig. 21), exponiendo un aumento desde el inicio de la barra (extremo izquierdo) hasta donde se sitúa la articulación (extremo derecho). El momento va en aumento debido a las fuerzas que reaccionan en la barra según las diferentes distancias a las que se encuentran, lo que supone un sobreesfuerzo que tiene que soportar la propia articulación para permanecer en estático.



**Fig. 21.** Diagrama momento flector *SolidWorks* Barra horizontal

**Fuente:** Elaboración propia.





**Escuela Superior  
de Ingeniería y Tecnología**  
Universidad de La Laguna

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

# **ANEXO II. CATÁLOGOS**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**DISEÑO DE EXOESQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR  
SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO**

**Antonio González Armas**

## INDICE

<b>1. RODAMIENTOS LINEALES COMPACTOS.....</b>	<b>2</b>
<b>2. RESORTES DE TORSIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>3. RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLAS ACERO INOXIDABLE (SKF) .....</b>	<b>7</b>

# 1. RODAMIENTOS LINEALES COMPACTOS

30 Bosch Rexroth AG | Linear Motion and Assembly Technologies

Rodamientos lineales | R310ES 3100 (2004.09)

Rodamientos lineales Compactos

## Rodamientos lineales Compactos, R0658 normales

### Construcción

- jaula de guiado POM
- sin retenes
- retenes integrados o aparte
- bolas de acero de rodamientos
- segmentos de acero tratado
- anillos de sujeción de metal (a partir de ejes Ø 12mm)

### RT

Con juego axial reducido para aplicaciones con poco juego, con taladros H7.

### anticorrosivos

(acero de rodamientos según ISO 683-17 / EN 10088)

### Construcción

- bolas de acero de rodamientos anticorrosivo
- segmentos de acero anticorrosivo
- anillos de sujeción de metal anticorrosivo (a partir de ejes Ø 12mm)



Eje Ø d [mm]	Referencias sin retén			Peso [kg]
	normales	RT	anticorrosivos	
8	R0658 008 00	R0658 062 00	R0658 008 30	0,011
10	R0658 010 00	R0658 061 00	R0658 010 30	0,014
12	R0658 012 00	R0658 051 00	R0658 012 30	0,016
14	R0658 014 00	R0658 058 00	R0658 014 30	0,018
16	R0658 016 00	R0658 052 00	R0658 016 30	0,025
20	R0658 020 00	R0658 053 00	R0658 020 30	0,028
25	R0658 025 00	R0658 054 00	R0658 025 30	0,058
30	R0658 030 00	R0658 055 00	R0658 030 30	0,080
40	R0658 040 00	R0658 056 00	R0658 040 30	0,140
50	R0658 050 00	R0658 057 00	R0658 050 30	0,170



Eje Ø d [mm]	Referencias con retenes integrados			Peso [kg]
	normales	RT	anticorrosivos	
8	R0658 208 40	R0658 262 40	R0658 208 30	0,011
10	R0658 210 40	R0658 261 40	R0658 210 30	0,014
12	R0658 212 40	R0658 251 40	R0658 212 30	0,016
14	R0658 214 40	R0658 258 40	R0658 214 30	0,018
16	R0658 216 40	R0658 252 40	R0658 216 30	0,025
20	R0658 220 40	R0658 253 40	R0658 220 30	0,028
25	R0658 225 40	R0658 254 40	R0658 225 30	0,058
30	R0658 230 40	R0658 255 40	R0658 230 30	0,080
40	R0658 240 40	R0658 256 40	R0658 240 30	0,140
50	R0658 250 40	R0658 257 40	R0658 250 30	0,170

Con un solo retén integrado: R0658 1.. 40 o R0658 1.. 30



Eje Ø d [mm]	Referencias Retenes
12	R1331 812 10
16	R1331 816 10
20	R1331 820 10
25	R1331 825 10
30	R1331 830 10
40	R1331 840 10
50	R1331 850 10

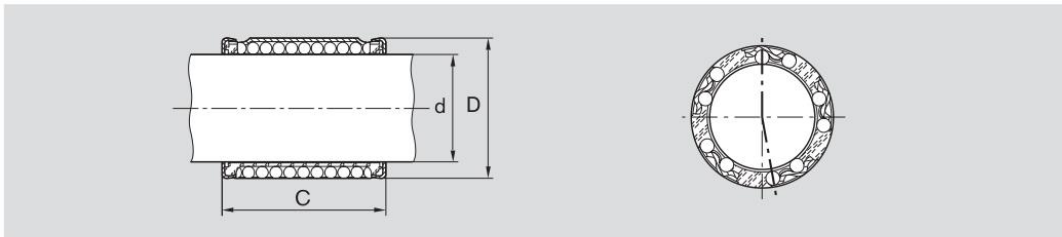
El cálculo de la capacidad de carga dinámica se basa en 100.000m de recorrido.  
Si se basa en 50.000m, se deberá multiplicar los valores C según la tabla por 1,26.

ABINA

R310ES 3100 (2004.09) | Rodamientos lineales

Linear Motion and Assembly Technologies | Bosch Rexroth AG 31

Medidas



Medidas [mm]			Hileras de bolas	Juego radial [µm] Eje / Taladro normales <sup>2)</sup> , anticorrosivos <sup>2)</sup>				Capacidades de carga [N]							
Ø d	D <sup>1)</sup>	C ±0,2		h7/H7	h7/JS7	h6/JS6	RT (juego radial reducido) h7/H7	normales		anticorrosivos					
								din. C min.	estát. C <sub>0</sub> máx.	din. C min.	estát. C <sub>0</sub> máx.				
8	15	24	4	+29 +4	+20 -5	+13 -4	+9 -16	500	580	350	500	350	410	280	400
10	17	26	5	+29 +4	+20 -5	+13 -4	+9 -16	600	720	410	600	420	500	330	480
12	19	28	5	+37 +2	+26 -8	+19 -8	+13 -22	730	870	420	620	510	610	340	500
14	21	28	5	+37 +2	+26 -8	+19 -8	+13 -22	760	900	430	630	530	630	340	500
16	24	30	5	+37 +2	+26 -8	+19 -8	+13 -22	950	1120	500	730	660	780	400	580
20	28	30	6	+38 +2	+28 -9	+20 -9	+14 -22	1120	1410	610	900	780	990	480	720
25	35	40	6	+42 +2	+29 -10	+21 -10	+18 -22	2330	2930	1310	1950	1630	2050	1050	1560
30	40	50	6	+42 +2	+29 -10	+21 -10	+18 -22	3060	3250	1880	2790	2140	2700	1510	2230
40	52	60	6	+48 +2	+33 -13	+23 -12	+24 -22	5040	6380	3140	4650	3520	4470	2510	3720
50	62	70	6	+48 +2	+33 -13	+23 -12	+24 -22	5680	7180	3610	5350	3970	5030	2890	4280



<sup>1)</sup> Eje Ø 8 y 10: El casquillo exterior de plástico está sobredimensionado. Para aplicaciones con vibraciones o altas aceleraciones es necesario una fijación adicional.

Eje Ø 12 hasta 50: El diámetro exterior de los anillos de sujeción de metal está sobredimensionado.

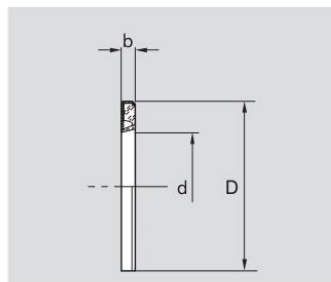
No se requiere de una fijación adicional (longitud del taladro ≥ C).

<sup>2)</sup> En las carcasas de metal ligero se puede prever la tolerancia K7 o K6 (ligera precarga posible).

Retenes

Construcción

- cápsula de metal
- retén de elastómero



Ø d	Medidas [mm]	
	D <sup>3)</sup>	b
12	19	3
16	24	3
20	28	4
25	35	4
30	40	4
40	52	5
50	62	5

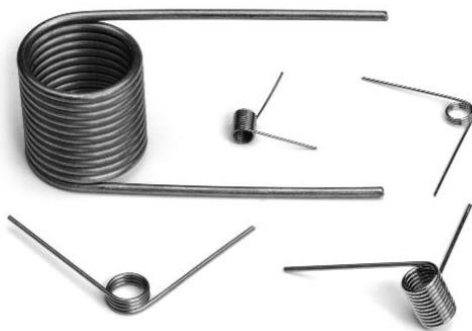
<sup>3)</sup> El diámetro exterior D está sobredimensionado en apróx. 0,1mm. No se requiere de una fijación adicional.

## 2. RESORTES DE TORSIÓN

### RESORTES DE TORSIÓN

## Serie Resortes de Torsión

*Una Selección para Satisfacer Tus Necesidades*

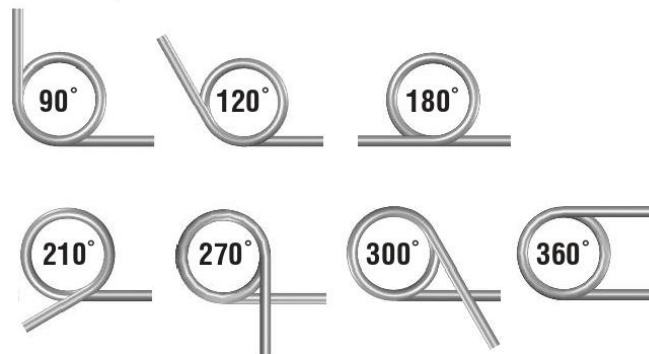


Los Resortes de Torsión de Lee Spring han sido cuidadosamente diseñados para representar las especificaciones de uso más común.

La selección de Resortes de Torsión de Lee Spring se encuentra dividida en 7 categorías de acuerdo a la Posición Libre de las Patas (90°, 120°, 180°, 210°, 270°, 300°, 360°). Los Resortes se muestran enrollados para ambas direcciones: derecho e izquierdo.

#### Dirección de Enrollado

Un buen diseño impone que los resortes de torsión deben de ser utilizados en la dirección en que se enrollan. Al ordenar, asegúrate de seleccionar ya sea LTL (enrollado izquierdo) o bien LTR (enrollado derecho), según lo requiera la aplicación.



#### Tamaño de Mandril:

Generalmente, los resortes de torsión son utilizados sobre un mandril (astil ó pérgola). La columna "Tamaño de Mandril Sugerido", permite un 10% de holgura para las distintas deflexiones mostradas en los siguientes ejemplos. Si requieres de deflexiones más grandes, te sugerimos una reducción adecuada en el tamaño del mandril.

RESORTES DE TORSIÓN

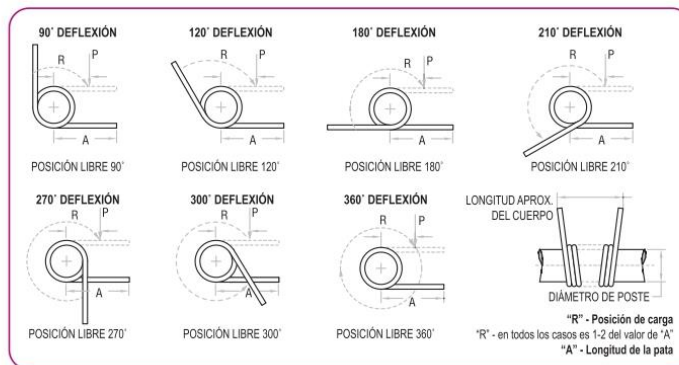


Lee Spring puede manufacturar resortes de torsión con tus especificaciones. ¡Contáctanos hoy!

**RESORTES DE TORSIÓN**

**NOTAS GENERALES**

1. La longitud de las patas es mostrada como "A" en los siguientes gráficos.
2. Es preciso señalar que "R" (Radio en Pulgadas) donde se ejerce una fuerza, siempre es 1/2 de "A" (Longitud de la Pata). Las patas punteadas muestran una posición cargada, donde los valores de "T" (Torque) serán alcanzados en "R" (Radio).
3. Para convertir los valores de torque a carga directa:  
**Usar la Fórmula P=T/R**  
 P = Carga ejercida al Radio (R), T = Torque  
**Ejemplo: Número de Parte LTL 012 A 01**  
 ¿Cuál es la carga donde R = .187?  
 Usando P = T/R = .050 / .187 = .267 LBS.
4. Para calcular distintos valores de torque a los mencionados, se puede utilizar una proporción directa.  
**Ejemplo: Número de Parte LTL 012 A 01**  
 El torque mostrado en el catálogo es .050 pulg / lbs. para una deflexión de 90°; por tanto, el torque a 45° de deflexión sería .025 pulg / lbs.
5. Inspección de carga – Las cargas siempre deben ser revisadas en el Radio (valor "R").



**Tolerancias en Diámetro Externo**

Pulgadas			Milímetros		
.093"	–	.125"	± .004"	2.36	– 3.17 ± .10mm
.126"	–	.200"	± .005"	3.18	– 5.08 ± .13mm
.201"	–	.300"	± .007"	5.09	– 7.62 ± .18mm
.301"	–	.410"	± .010"	7.63	– 10.41 ± .26mm
.411"	–	.500"	± .013"	10.42	– 12.70 ± .33mm
.501"	–	.700"	± .015"	12.71	– 17.78 ± .38mm
.701"	–	.875"	± .020"	17.79	– 22.23 ± .51mm
.876"	–	1.125"	± .025"	22.24	– 28.58 ± .64mm
1.126"	–	1.218"	± .030"	28.59	– 30.94 ± .76mm
1.219"	–	1.250"	± .035"	30.95	– 31.75 ± .89mm
1.251"	–	1.360"	± .040"	31.76	– 34.54 ± 1.02mm
1.361"	–	1.520"	± .045"	34.55	– 38.60 ± 1.14mm
1.521"	–	1.750"	± .050"	38.61	– 44.45 ± 1.27mm
1.751"	–	2.000"	± .055"	44.46	– 50.80 ± 1.40mm
Más		2.000"	± .060"	Más	50.80 ± 1.52mm

**Tolerancias en Posición Libre:**

De 3 a 10 vueltas totales (Incl.) ± 10° • De 11 a 20 vueltas totales (Incl.) ± 15°

RESORTES DE TORSIÓN

**Especificaciones**

**Material:**  
 Alambre de Piano  
 Acero Inoxidable Tipo 302  
**Platinado:**  
 En Zinc .0002" (ASTM B-633)  
**Pasivado:**  
 (ASTM A-967)  
 (ESPECIFICACIONES MILITARES  
 No. QQ-P-35)  
**Tolerancias de Torque:**  
 ± 10%



**RESORTES DE TORSIÓN POSICIÓN LIBRE 90° (PULGADAS)**

Alambre de Piano (Platinado) ó Acero Inoxidable (Pasivado), LTL - Enrollado Izquierdo; LTR - Enrollado Derecho

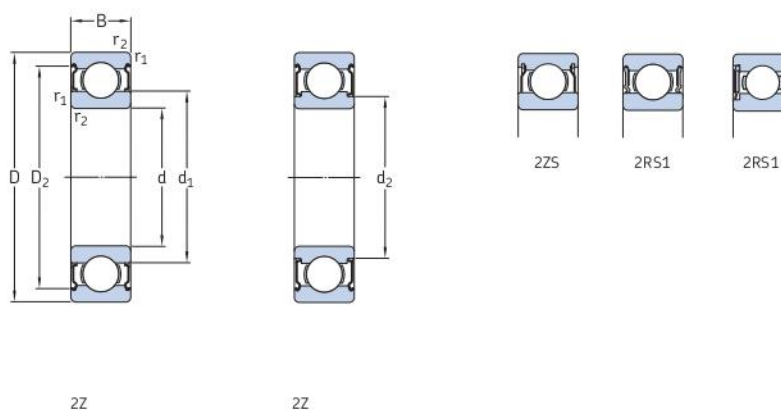
NÚMERO DE PARTE LEE	DIÁMETRO EXTERIOR		DIÁMETRO DEL ALAMBRE		TORQUE @ 90° DEFLEXIÓN (T)		RADIO (R)		TAMAÑO MANDRIL SUGERIDO		LONGITUD DE LAS PATAS (A)		LONGITUD APROX. DEL CUERPO (L)		NÚMERO DE ESPIRALES	GRUPO DE PRECIO	
	PULG.	MM	PULG.	MM	PULG.LBS	KG-MM	PULG.	MM	PULG.	MM	PULG.	MM	PULG.	MM		Alambre de Piano	Inoxidable 302
LTL075M 07 LTR075M 07	.810	20.56	.075	1.91	9.203	106.01	1.000	25.40	19/32 (.594)	15.08	2.000	50.80	0.319	8.10	3.25	AA	AB
LTL078N 07 LTR078N 07	.835	21.21	.078	1.98	10.450	120.38	1.000	25.40			2.000	50.80	0.332	8.42	3.25	AA	AB
LTL105Q 01 LTR105Q 01	.848	21.54	.105	2.67	21.000	241.92	1.750	44.45	37/64 (.578)	14.68	3.500	88.90	0.656	16.66	5.25	AC	AD
LTL095P 01 LTR095P 01	.871	22.12	.095	2.41	17.140	197.45	1.500	38.10	39/64 (.609)	15.48	3.000	76.20	0.509	12.93	4.25	AB	AC
LTL085N 07 LTR085N 07	.952	24.19	.085	2.16	12.860	148.14	1.250	31.75			2.500	63.50	0.361	9.18	3.25	AB	AC
LTL115R 01 LTR115R 01	.978	24.84	.115	2.92	28.000	322.56	2.000	50.80	11/16 (.688)	17.46	4.000	101.60	0.718	18.24	5.25	AD	AE
LTL125S 01 LTR125S 01	.989	25.12	.125	3.18	32.000	368.64	2.000	50.80			4.000	101.60	0.906	23.01	6.25	AE	AG
LTL135T 01 LTR135T 01	1.102	27.99	.135	3.43	40.000	460.80	2.000	50.80	49/64 (.766)	19.45	4.000	101.60	0.978	24.84	6.25	AG	AJ
LTL095P 07 LTR095P 07	1.110	28.20	.095	2.41	17.140	197.44	1.500	38.10	13/16 (.813)	20.64	3.000	76.20	0.404	10.26	3.25	AG	AJ
LTL105Q 07 LTR105Q 07	1.342	34.08	.105	2.67	21.000	241.90	1.750	44.45	1 1/32 (1.031)	26.19	3.500	88.90	0.446	11.33	3.25	AG	AJ
LTL125S 07 LTR125S 07	1.372	34.84	.125	3.18	32.000	368.62	2.000	50.80			4.000	101.60	0.656	16.67	4.25	AG	AJ
LTL115R 07 LTR115R 07	1.450	36.82	.115	2.92	28.000	322.54	2.000	50.80	1 3/32 (1.094)	27.78	4.000	101.60	0.489	12.41	3.25	AG	AJ
LTL135T 07 LTR135T 07	1.492	37.89	.135	3.43	40.000	460.77	2.000	50.80	1 1/8 (1.125)	28.58	4.000	101.60	0.709	18.00	4.25	AG	AJ

RESORTES DE TORSIÓN

**INSTRUCCIONES ESPECIALES PARA LOS RESORTES TORSIÓN**  
**NÚMERO DE PARTE:** Agregue el sufijo "M" al final del número en inventario para Alambre de Piano; "S" para Acero Inoxidable tipo 302.  
**PRECIO:** Para cotizar hasta 1000 resortes visite [www.lespring.com](http://www.lespring.com); para más de 1000 resortes, contacte a Lee Spring.  
**CÁLCULOS:** El torque mostrado es para Alambre de Piano. Para Acero Inoxidable, multiplique las cifras por .933.  
 Nota: el Tipo 302 puede ser sustituido por el Tipo 304 a criterio de Lee Spring.

### 3. RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLAS ACERO INOXIDABLE (SKF)

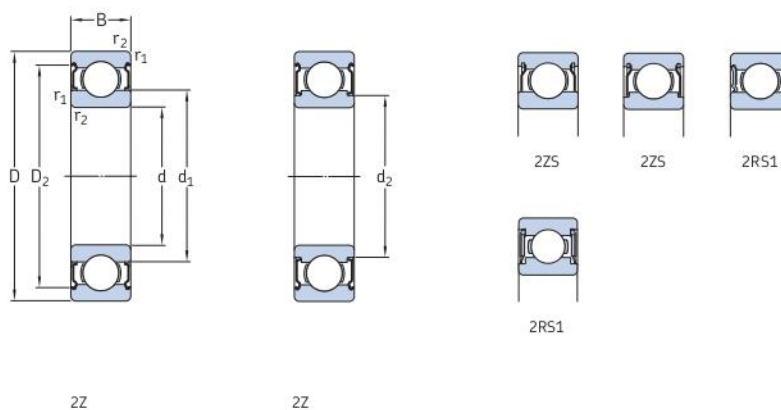
#### 1.7 Rodamientos rígidos de bolas de acero inoxidable tapados d 4 – 6 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación	
d	D	B	dinámica C	estática C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite			
mm			kN		kN	r. p. m.		g	-	
4 cont.	10	4	0,637	0,25	0,011	=	36 000	1,4	W 638/4 X-2RS1	
	10	4	0,637	0,25	0,011	130 000	63 000	1,3	W 638/4 X-2Z	
	11	4	0,54	0,176	0,008	130 000	63 000	2,2	W 619/4-2Z	
	11	4	0,54	0,176	0,008	=	36 000	2,2	W 619/4-2RS1	
	12	4	0,54	0,176	0,008	=	36 000	2,1	W 604-2RS1	
	12	4	0,54	0,176	0,008	130 000	63 000	2,2	W 604-2Z	
	13	5	0,741	0,25	0,011	=	32 000	3	W 624-2RS1	
	13	5	0,741	0,25	0,011	110 000	56 000	3	W 624-2Z	
	16	5	0,761	0,265	0,011	=	30 000	5,2	W 634-2RS1	
	16	5	0,761	0,265	0,011	100 000	50 000	5,3	W 634-2Z	
	5	8	2,5	0,14	0,045	0,002	140 000	70 000	0,4	W 627/5-2Z
		8	2,5	0,14	0,045	0,002	140 000	70 000	0,4	W 627/5-2ZS
9		3	0,247	0,085	0,004	130 000	67 000	0,5	W 637/5 X-2Z	
9		3	0,247	0,085	0,004	130 000	67 000	0,6	W 637/5 X-2ZS	
11		4	0,403	0,143	0,006	=	34 000	1,8	W 628/5-2RS1	
11		4	0,403	0,143	0,006	120 000	60 000	1,5	W 628/5-2Z	
11		5	0,403	0,143	0,006	120 000	60 000	1,8	W 638/5-2Z	
11		5	0,403	0,143	0,006	=	34 000	1,8	W 638/5-2RS1	
13		4	0,761	0,335	0,014	110 000	56 000	2,3	W 619/5-2Z	
13		4	0,761	0,335	0,014	=	32 000	2,3	W 619/5-2RS1	
13		5	0,761	0,335	0,014	110 000	56 000	2,9	W 619/5 X-2Z	
14		5	0,761	0,26	0,011	=	30 000	3,4	W 605-2RS1	
14	5	0,761	0,26	0,011	110 000	53 000	3,4	W 605-2Z		
6	16	5	1,43	0,63	0,027	=	28 000	4,9	W 625-2RS1	
	16	5	1,43	0,63	0,027	100 000	50 000	4,8	W 625-2Z	
	19	6	2,34	0,88	0,038	85 000	43 000	8	W 635-2Z	
	19	6	2,34	0,88	0,038	=	24 000	8	W 635-2RS1	
6	10	3	0,286	0,112	0,005	120 000	60 000	0,7	W 627/6-2Z	
	13	5	0,618	0,224	0,01	=	30 000	2,5	W 628/6-2RS1	
	13	5	0,618	0,224	0,01	110 000	53 000	2,5	W 628/6-2Z	
	15	5	0,761	0,265	0,011	=	30 000	3,8	W 619/6-2RS1	
	15	5	0,761	0,265	0,011	100 000	50 000	3,9	W 619/6-2Z	



**1.7 Rodamientos rígidos de bolas de acero inoxidable tapados**  
d 9 – 12 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación	
d	D	B	dinámica C	estática C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite			
mm			kN		kN	r. p. m.		g	-	
<b>9</b>	14	4,5	0,52	0,236	0,01	95 000	45 000	1,8	W 637/9-2ZS	
	17	5	0,761	0,335	0,014	=	24 000	4,2	W 628/9-2RS1	
	17	5	0,761	0,335	0,014	85 000	43 000	4,1	W 628/9-2Z	
	17	6	0,761	0,335	0,014	85 000	43 000	4,9	W 638/9-2Z	
	20	6	2,12	1,06	0,045	80 000	40 000	7,7	W 619/9-2Z	
	20	6	2,12	1,06	0,045	=	22 000	7,6	W 619/9-2RS1	
	24	7	2,03	0,815	0,036	=	20 000	14,5	W 609-2RS1	
	24	7	2,03	0,815	0,036	70 000	36 000	14,5	W 609-2Z	
	26	8	3,97	1,96	0,083	=	19 000	19	W 629-2RS1	
	26	8	3,97	1,96	0,083	67 000	32 000	19,5	W 629-2Z	
	30	10	4,94	2,32	0,1	=	16 000	35	W 639-2RS1	
	30	10	4,94	2,32	0,1	60 000	30 000	33,5	W 639-2Z	
	<b>10</b>	15	4	0,488	0,22	0,009	=	24 000	1,8	W 61700 X-2RS1
		15	4	0,488	0,22	0,009	85 000	43 000	1,8	W 61700 X-2Z
		19	5	1,48	0,83	0,036	=	22 000	5,2	W 61800-2RS1
		19	5	1,48	0,83	0,036	80 000	38 000	5,1	W 61800-2Z
19		7	1,48	0,83	0,036	80 000	38 000	7,1	W 63800-2Z	
19		7	1,48	0,83	0,036	=	22 000	7,1	W 63800-2RS1	
22		6	2,7	1,27	0,054	=	20 000	9,4	W 61900-2RS1	
22		6	2,7	1,27	0,054	70 000	36 000	9,5	W 61900-2Z	
26		8	3,97	1,96	0,083	=	19 000	18,5	W 6000-2RS1	
26		8	3,97	1,96	0,083	67 000	32 000	18,5	W 6000-2Z	
30		9	4,36	2,32	0,1	=	16 000	30,5	W 6200-2RS1	
30		9	4,36	2,32	0,1	60 000	30 000	30,5	W 6200-2Z	
35	11	7,02	3,4	0,146	=	15 000	51	W 6300-2RS1		
35	11	7,02	3,4	0,146	53 000	26 000	53	W 6300-2Z		
<b>12</b>	18	4	0,527	0,265	0,011	=	22 000	3	W 61701-2RS1	
	18	4	0,527	0,265	0,011	75 000	38 000	2,9	W 61701-2Z	
	21	5	1,51	0,9	0,039	=	20 000	6	W 61801-2RS1	
	21	5	1,51	0,9	0,039	70 000	36 000	5,8	W 61801-2Z	
	21	7	1,51	0,9	0,039	=	20 000	8,2	W 63801-2RS1	
	21	7	1,51	0,9	0,039	70 000	36 000	7,8	W 63801-2Z	



**Escuela Superior  
de Ingeniería y Tecnología**  
Universidad de La Laguna

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

# **ANEXO III. ESTUDIO ERGONÓMICO**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**DISEÑO DE EXOESQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR  
SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO**

**Antonio González Armas**

## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2. DATOS ANTROPOMÉTRICOS .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. ANTROPOMETRÍA ESTÁTICA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. ANTROPOMETRÍA DINÁMICA .....</b>	<b>4</b>
<b>3. ANÁLISIS BIOMECÁNICO .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1. MOVIMIENTOS DE LOS MIEMBROS DEL CUERPO .....</b>	<b>7</b>
<b>3.2. ARTICULACIONES .....</b>	<b>8</b>
<b>4. ACCIDENTES DE TRABAJO .....</b>	<b>11</b>
<b>5. TRASTORNOS MUSCULO ESQUELÉTICOS .....</b>	<b>14</b>
<b>5.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>5.2. Metodología REBA .....</b>	<b>16</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Este estudio tiene como objetivo disminuir los riesgos de determinados puestos de trabajo que suponen un sobreesfuerzo para los trabajadores, en determinadas actividades, mediante un elemento externo, que en este caso será el diseño de un exoesqueleto superior. Mediante un estudio se va a evaluar el riesgo postural de los trabajadores que tengan que hacer actividades laborales por encima del nivel del corazón. Muchos de estos trabajadores, tienen que mantener los brazos en alto por períodos largos de tiempo, situaciones repetitivas y con unas posiciones corporales restringidas. Este tipo de postura, se le considera como “posturas forzadas”, donde al realizar estos trabajos, produce un aumento de los esfuerzos sobre estructuras anatómicas, disminución de la capacidad de realizar fuerzas por el acortamiento muscular y movimientos que agravan los riesgos asociados a dichas posturas.

En este Anexo, se va a tratar el análisis y la evaluación ergonómica de los puestos de trabajo que cumplan las condiciones anteriormente nombradas. Su finalidad es acoplar el exoesqueleto al trabajador, de manera que el sujeto que va a realizar la acción tenga la mayor facilidad y comodidad en la interacción con el puesto de trabajo. Cualquier intervención que se realice en un sistema persona-máquina, debe tener prevista su evaluación, ya que todo proyecto debe de asegurar su calidad mediante mecanismos de planificación y control. En la fase conceptual del proyecto, hay que tener en cuenta la viabilidad económica y que sea tecnológicamente factible. Al implementar un diseño, se debe elaborar un informe de efectividad, para así valorar que los mecanismos diseñados son coherentes con los objetivos y permitan evaluar los resultados obtenidos sobre los previstos. Además, es importante que se produzca un beneficio económico, pero siempre teniendo en cuenta que la inversión de una mejora de las condiciones de trabajo va a revertir positivamente, debido a una reducción de los accidentes laborales.

La intervención ergonómica se debe caracterizar por poseer por un lado, cómo y en qué se ha mejorado la calidad de vida de los operarios, y por otro, cómo y en cuánto hemos mejorado la efectividad del sistema. Sólo cuando la intervención mejore estos dos aspectos, se puede hablar de una intervención ergonómica en el sistema.

## 2. DATOS ANTROPOMÉTRICOS

La antropometría es la ciencia que estudia las medidas y dimensiones de las diferentes partes del cuerpo humano, ya que estas varían de un individuo a otro según su edad, sexo, raza, nivel socioeconómico, etcétera [21].

El ser humano es el elemento más importante de cualquier sistema persona-máquina, pero a la vez es el más frágil y caro. Por lo que es mucho más económico tener en cuenta a la persona en el diseño de los puestos de trabajo que ignorarla. Las dimensiones humanas, sus movimientos y tiempos, deben primar para determinar las dimensiones del puesto.

Mediante el diseño de un exoesqueleto, el trabajador puede desarrollar su actividad, realizando los movimientos requeridos para los diferentes tipos de tareas, minimizando los riesgos para su salud.

La antropometría se va a dividir en dos tipos. Por un lado, la antropometría estática, y por otro, la dinámica.

## 2.1. ANTROPOMETRÍA ESTÁTICA

La antropometría estática o estructura es aquella cuyo objetivo se basa en la medición de dimensiones estáticas, es decir, aquellas que se toman con el cuerpo en una posición fija y determinada. Sin embargo, la persona se encuentra normalmente en movimiento, de ahí que se haya desarrollado la antropometría dinámica o funcional.

El conocimiento de las dimensiones estáticas es básico para el diseño de los puestos de trabajo y permite establecer las distancias necesarias entre el cuerpo y lo que le rodea. Las dimensiones estructurales de los diferentes segmentos del cuerpo se toman en individuos en posturas estáticas, normalizadas bien de pie o sentado.

## 2.2. ANTROPOMETRÍA DINÁMICA

La antropometría dinámica o funcional, tiene como fin medir las dimensiones dinámicas, que son aquellas medidas realizadas a partir del movimiento asociado a ciertas actividades. Estas dimensiones, tiene en cuenta el estudio de las articulaciones suministrando el conocimiento de la función y posibles movimientos de las mismas y permitiendo valorar la capacidad de la dinámica articular [22].

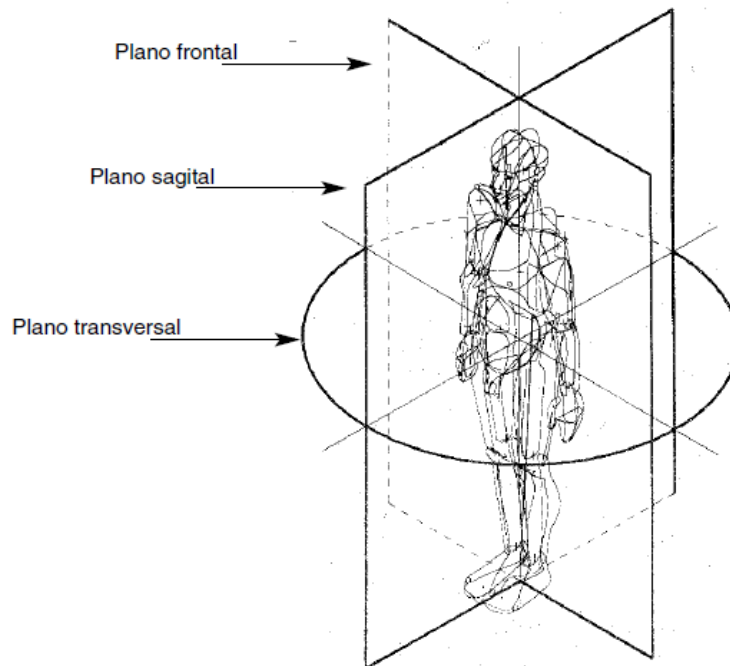
Si las personas han sido creadas para vivir en movimiento, es obvio que la antropometría que se necesita para diseñar herramientas, objetos y puestos de trabajo, es la antropometría dinámica y no la estática. Por lo tanto, se puede definir la antropometría que utiliza la ergonomía, como la ciencia que estudia tanto las dimensiones del ser humano, incluido sus movimientos, como su peso, su volumen, sus fuerzas y sus desplazamientos.

### 3. ANÁLISIS BIOMECÁNICO

La biomecánica es la disciplina científica que tiene como objetivo estudiar las estructuras de carácter mecánico que existen, sobretodo del cuerpo humano. Con esta disciplina se puede evaluar si un esfuerzo en una determinada postura puede provocar sobrecarga en alguna estructura del aparato locomotor.

Se supone una articulación como un punto de apoyo de una palanca accionada por un músculo para vencer una resistencia. Por ello, en este trabajo de diseño, se va a designar las partes del cuerpo humano por segmentos, aplicando en ellos su centro de gravedad y el peso de cada uno. El peso y la posición del centro de gravedad de cada uno de los segmentos corporales se van a estimar mediante aproximación de una barra rectangular. Se calculan los momentos generados por la carga y el peso propio de los diferentes segmentos corporales y se evalúa el riesgo de que se produzca algún tipo de lesión musculoesquelética. Dicho valor calculado, se estima para posturas y esfuerzos puntuales de corta duración. Este valor se deberá minimizar si los esfuerzos se realizan en largos períodos de tiempo o con una frecuencia alta. En función de la repetitividad de la acción de los esfuerzos, se clasificarán en:

- Esfuerzo estático (mantenido más de un minuto)
- Esfuerzos que se repiten cíclicamente (más de una vez cada 5 minutos)
- Esfuerzos que se repiten con una frecuencia inferior a una vez cada 5 minutos.



**Fig. 1.** Planos de referencia

**Fuente:** R.Mondelo, P., Gregori, E., Blasco, J., Barrau, P., Ergonomía 3, Diseño de puestos de trabajo, nº 3.

Como hipótesis de trabajo, se ha supuesto para el cálculo de las fuerzas y momentos del brazo humano los siguientes aspectos:

- Todos los segmentos corporales son rígidos, sin cambios en su masa, densidad o forma en función de la postura.
- Los centros de masas de los segmentos no cambian de posición relativa a los extremos proximal ni distal del segmento.
- El radio de giro de cada segmento no cambia durante el movimiento.

A continuación, se van a presentar ciertos elementos básicos en la biomecánica que afectan al diseño del exoesqueleto y las limitaciones del esqueleto de una persona.



### 3.1. MOVIMIENTOS DE LOS MIEMBROS DEL CUERPO

Algunos de los movimientos que se hacen con los brazos se consideran básicos. A continuación, se van a enumerar parte de los movimientos con su denominación en biomecánica:

- Posición de referencia anatómica: es aquella a partir de la cual se miden los movimientos articulares.
- Flexión: consiste en doblarse o disminuir el ángulo entre las partes del cuerpo, movimiento en el que un segmento corporal se desplaza en un plano sagital respecto a un eje transversal, aproximándose al segmento corporal adyacente.
- Extensión: consiste en enderezarse o aumentar el ángulo entre las partes del cuerpo, movimiento sagital respecto a un eje transversal tal que, desde una posición de flexión, se vuelve a la posición de referencia anatómica o se sobrepasa.
- Aducción: consiste en acercarse a la línea media del cuerpo, movimiento que se realiza en el plano frontal, en derredor de un eje antero-posterior, que aproxima el segmento a la línea media.
- Abducción: consiste en alejarse de la línea media del cuerpo, movimiento que se realiza en un plano frontal, en derredor de un eje antero-posterior, que aleja el segmento de la línea media.
- Pronación: consiste en girar el antebrazo de modo que la palma de la mano quede hacia abajo.
- Supinación: consiste en girar el antebrazo de modo que la palma de la mano quede hacia arriba.
- Circunducción: movimiento en el que una parte del cuerpo describe un cono cuyo vértice está en la articulación y su base en la extremidad distal de esa parte y no requiere rotación.

Estos movimientos de los miembros del cuerpo están descritos en términos del funcionamiento de los músculos y de la dirección de los movimientos respecto al cuerpo [23].

## **3.2. ARTICULACIONES**

Las articulaciones son las estructuras anatómicas que permiten la unión entre dos huesos o entre un hueso y un cartílago. Las articulaciones se estabilizan mediante ligamentos que unen los extremos óseos y tienen movilidad gracias a los músculos que se insertan en sus proximidades.

Para el desarrollo del diseño del exoesqueleto, se ha tenido en cuenta las siguientes articulaciones del miembro superior del cuerpo humano.

### 3.2.1. Articulación del hombro

La articulación del hombro es el punto de unión entre el húmero y la escápula. Aparte, ésta adquiere estabilidad gracias a los músculos, ya que son los que se encargan de permitir el movimiento y soportar la articulación. Los movimientos que se efectúan por encima de la cabeza, dependen de los hombros. Esta articulación, es un complejo articular, y por ello, está formado por varias articulaciones. Esto permite que los movimientos en este punto se puedan realizar en base a tres ejes. Ésta es la que mayor movilidad tiene dentro del aparato locomotor, por eso, está sujeta a múltiples lesiones y dolencias. De hecho, es la que se luxa con mayor facilidad [24].

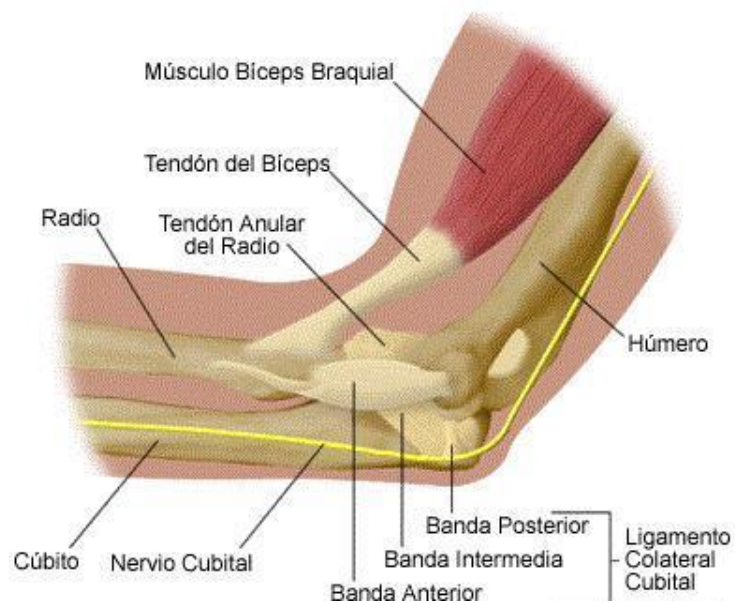


**Fig. 2.** Anatomía del hombro

**Fuente:** <https://www.elcaminohealth.org/es/library/datos-acerca-de-la-espina-dorsal-el-hombro-y-la-pelvis>

### 3.2.2. Articulación del codo

La articulación del codo es la que une el brazo con el antebrazo. Permite conectar la parte final del húmero con la zona inicial de los huesos del cúbito y radio. Esta articulación tiene dos finalidades. Por un lado, permite que el miembro superior se doble o se estire. Por otro lado, permite que el antebrazo gire sobre su eje. Al igual que en el caso de la articulación anterior, ésta está compuesta por varias articulaciones también. Todas ellas, permiten realizar varios movimientos, pero la principal función es la flexión y extensión del antebrazo con respecto al brazo [25].



**Fuente:** <https://www.aulafacil.com/cursos/terapia/fisioterapia/codo-y-antebrazo-anatomia-basica-l20908>

## 4. ACCIDENTES DE TRABAJO

Según se expone en el Real Decreto Legislativo 8/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley General de la Seguridad Social, en su artículo 156, apartado 1 y 3 respectivamente dice:

“1. Se entiende por accidente de trabajo toda lesión corporal que el trabajador sufra con ocasión o por consecuencia del trabajo que ejecuta por cuenta ajena.

3. Se presumirá, salvo prueba en contrario, que son constitutivas de accidente de trabajo las lesiones que sufra el trabajador durante el tiempo y en el lugar del trabajo.”

Debido a los datos expuestos anteriormente, las articulaciones son elementos que están sujetos y a la vez permiten los movimientos de los segmentos del cuerpo. Por lo que son piezas del cuerpo muy frágiles. Debido a esto, un sobreesfuerzo puede dañar las articulaciones. En el caso del foco de estudio, que es la articulación del hombro, como ya se ha visto, es una de las articulaciones con mayor movilidad, pero de una gran inestabilidad.

Para diagnosticar si un dolor en el hombro es un accidente de trabajo o no, hay que proceder a un diagnóstico específico. Las diagnósticos más comunes en este ámbito, reflejan el síndrome de *impingement* subacromial, la tendinopatía, a la rotura parcial o total, o a la artrosis acromio clavicular.

Según la INSS (Instituto Nacional de la Seguridad Social), en su Manual de Tiempo Estándar de Incapacidad Temporal, los procesos de baja por dolor en el hombro tienen una duración entre 14-60 días, siendo el código 719.41, dolor articular los 14 días de baja; y el código 726.0, Capsulitis adhesiva en el hombro con 60 días de baja, especificado en la siguiente tabla.

Se ha querido constatar el período de baja por incapacidad laboral relacionado con las patologías de las articulaciones, fundamentalmente del hombro (Tabla 1).

**Tabla 1.** Tiempos estándar de Incapacidad Laboral.

CÓDIGO CIE-0. MC	DESCRIPCIÓN	TIEMPO ESTÁNDAR EN DÍAS
719.4	Dolor articular	14
719.40	Dolor articular de localización no especificada	14
719.41	Dolor articular de hombro	14
719.42	Dolor articular de brazo	14
719.43	Dolor articular de antebrazo	14
719.44	Dolor articular de mano	14
719.45	Dolor articular de pelvis y muslo	14
719.46	Dolor articular de pierna	14
719.47	Dolor articular de tobillo y pie	14
719.48	Dolor articular de otras localizaciones especificadas	14
719.49	Dolor articular localización múltiple	14
719.5	Rigidez articular NCOC	14
719.6	Otros síntomas articulares	14
726	Tendinitis intersecciones periféricas y síndromes conexos	30
726.0	Capsulitis adhesiva hombro	60
726.1	Síndrome de la vaina de los músculos rotadores del brazo	30
726.10	Trastornos de bolsas y tendones en región del hombro	30

En este caso, se ha procedido a un estudio de bajas laborales por accidentes de trabajo en el hombro y su articulación debido a sobreesfuerzos. Los datos se han cogido de “reduccionabsentismo.es”. Aquí se exponen los accidentes de trabajos realizados a nivel español, donde las empresas sitúan sus bajas y sus debidas causas. Debido a la filtración de información y datos, se han extraído estos valores, donde se presentan una gran variedad de accidentes laborales por dolores en el hombro.

**Tabla 2.** Accidentes de trabajo por sobreesfuerzo en el hombro y su articulación.

<b>Tipo Accidente</b>	<b>Parte Cuerpo</b>	<b>Forma Contacto</b>	Accidentes
<b>Total</b>			<b>109075</b>
Accidente	<b>Total</b>		<b>109075</b>
Accidente	Hombro y articulaciones del húmero	<b>Total</b>	<b>109075</b>
Accidente	Hombro y articulaciones del húmero	Ninguna información	800
Accidente	Hombro y articulaciones del húmero	Sobreesfuerzo físico, trauma psíquico, exposición a radiaciones, ruido, luz o presión - Sin especific.	7
Accidente	Hombro y articulaciones del húmero	Sobreesfuerzo físico - sobre el sistema musculoesquelético	106631
Accidente	Hombro y articulaciones del húmero	Exposición a radiaciones, ruido, luz o presión	76
Accidente	Hombro y articulaciones del húmero	Trauma psíquico	34
Accidente	Hombro y articulaciones del húmero	Otro contacto - Tipo de lesión conocido del grupo 70 pero no mencionado antes	1069
Accidente	Hombro y articulaciones del húmero	Otro contacto - Tipo de lesión no codificado en la presente clasificación	458

Los datos estadísticos de los accidentes de trabajo son notificados con el objeto de proporcionar información sobre las causas y circunstancias, según las cuales se han producido los accidentes laborales principalmente para contribuir a la mejora del conocimiento de la prevención de riesgos laborales.

Dentro del análisis que se ha recogido en la Asociación de Mutuas de Accidentes de Trabajo (AMAT), considerando tipo de accidente, parte del cuerpo, forma de contacto y número de accidente, se puede determinar que el mayor número de accidentes que afectan al hombro y articulaciones del húmero, son por sobreesfuerzo físico sobre el sistema músculo esquelético (Tabla 2).

Aunque no se puede especificar a ciencia cierta que todos los accidentes de trabajos son debidos a trabajos realizados por encima del nivel del corazón, sí que se puede enfocar de tal manera que hay un número elevado de bajas laborales debido a esta articulación en concreto. Como se ha expuesto en los apartados anteriores, al ser el hombro un elemento tan frágil, un sobreesfuerzo expone al trabajador a un posible accidente laboral. Por ello, debido al estudio que se ha realizado en el Anexo I, se puede concluir que los operarios que realizan ciertas actividades con los brazos elevados durante ciertos períodos de tiempo, están expuestos a una gran posibilidad de sufrir una lesión. Por ello, se ha introducido el exoesqueleto, para reducir el sobreesfuerzo de la articulación.

## **5. TRASTORNOS MUSCULO ESQUELÉTICOS**

### **5.1. INTRODUCCIÓN**

Los trastornos musculo esqueléticos (TME) son procesos, que afectan principalmente a las partes blandas del aparato locomotor: músculos, tendones, nervios, y otras estructuras próximas a las articulaciones. Al realizar ciertas tareas, se producen pequeñas agresiones mecánicas que cuando se repiten durante largos períodos de tiempo, acumulan sus efectos hasta causar una lesión. Estas lesiones se manifiestan con dolor y limitación funcional de la zona afectada, que dificultan o impiden realizar el trabajo.

Los trastornos musculo esqueléticos (TME) de origen laboral constituyen una de las principales causas de enfermedad relacionadas con el trabajo. Por esto, afrontar los TME ayuda a mejorar las vidas de los trabajadores, aunque también tiene sentido desde un punto de vista empresarial, ya que supone un coste para la empresa.



La mayoría de los TME relacionados con el trabajo se desarrollan a lo largo del tiempo. Entre las causas físicas y los factores de riesgo organizativos se incluyen: Manipulación de cargas, movimiento repetitivos o forzados, posturas extrañas o estáticas, vibraciones, iluminación deficiente, trabajo a un ritmo elevado y estar de pie o sentado durante mucho tiempo en la misma posición [26].

Los principales riesgos de tipo ergonómico en los talleres de automoción son: manipulación manual de cargas, el manejo de herramienta y equipos de trabajo y la adopción de posturas de trabajo forzadas. Dentro estos riesgos ergonómicos se harán referencia a los trastornos musculo esqueléticos debido a las posturas forzadas.

Hay que indicar que muchos de los trabajos realizados en los talleres de automoción requieren de la actuación en la parte baja de los vehículos a reparar o mantener, obligando al trabajador a adoptar posturas forzadas y realizar esfuerzos que se relacionan con el aumento del riesgo de padecer trastornos musculo esqueléticos como dolores de cuello, espalda y extremidades superiores entre otros.

Debido a ello, es necesario adoptar desde la empresa unas medidas preventivas de carácter ergonómico adecuadas, para evitar problemas de salud derivados del trabajo. Para esto se hace necesario realizar un estudio ergonómico y estimar el riesgo para adoptar medidas preventivas y asegurar la salud de los trabajadores [27].

Estos TME sufridos por los trabajadores en talleres de automoción afectan a su calidad de vida, y para prevenirlos resulta fundamental un diseño adecuado del puesto de trabajo, basado en la realización de evaluaciones de riesgos ergonómicas, junto con la posterior planificación y adopción de medidas preventivas, como parte del ciclo de mejora continua preventivo a seguir por parte de cualquier empresa en el desarrollo de su gestión preventiva.

Por ello, se va a presentar a continuación una evaluación de posturas forzadas (metodología REBA) de una empresa de automoción de la cual no se puede facilitar su identidad.

## 5.2. Metodología REBA

El método REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) para estimar el riesgo de padecer desórdenes corporales relacionados con el trabajo, es una herramienta diseñada para poder valorar las posturas forzadas.

Se trata de un sistema de análisis que incluye factores de carga postural dinámicos y estáticos, la interacción persona–carga, y un nuevo concepto que incorpora tener en cuenta lo que llaman “la gravedad asistida” para el mantenimiento de la postura de las extremidades superiores, es decir, la ayuda que puede suponer la propia gravedad para mantener la postura del brazo.

Se procederá a continuación, en la exposición del estudio que se ha realizado en varios talleres de esta empresa, evaluando los riesgos que sufren los trabajadores en determinados puestos de trabajo. Sólo se expondrán los datos extraídos en el puesto de trabajo en el que el operario se encuentra realizando una postura forzada con los brazos por encima del nivel del corazón.

En la tabla 3, se visualiza las operaciones de motor y los trabajos en fosos, teniendo ambos una periodicidad puntual en las operaciones, excepto en los trabajos en el motor, que se reproducen diariamente.

**Tabla 3.** Tarea analizada del puesto de trabajo de operario de mantenimiento de flota.

Tarea	Acciones	Observaciones	Fotografía	Riesgos	Periodicidad
Operaciones de motor	Cambio filtro de combustible	Todas las operaciones de filtros se hacen en la misma jornada trabajando en equipos (1 hora aprox.)		Posturas forzadas	Puntual
	Cambio filtro de aire			Posturas forzadas	Puntual
	Cambio filtro de dirección			Posturas forzadas	Puntual
	Trabajos en el motor	Posturas más o menos forzadas según la avería a reparar		Posturas forzadas	Diaria
Trabajos en fosos	-	Trabajan con linterna manteniendo posturas forzadas en cuello con los brazos siempre alzados y margen de maniobra		Posturas forzadas	Puntual

Tabla 4. Análisis de la tarea mediante el método REBA.

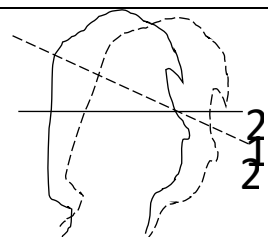
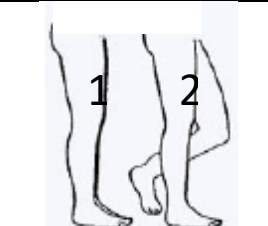
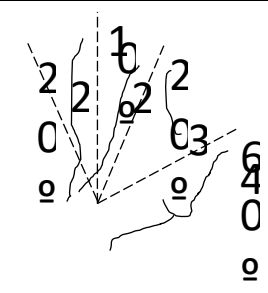
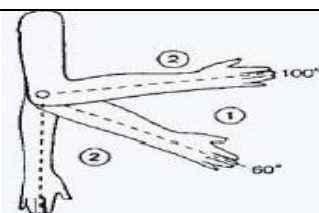
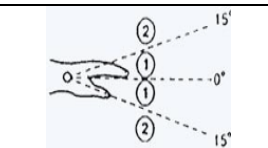
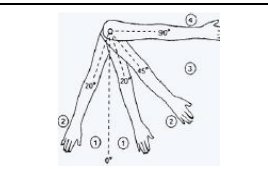
Tarea			
Trabajos en motor			
GRUPO A: ANÁLISIS DEL CUELLO, PIERNAS Y TRONCO			
CUELLO			
Movimiento	Puntos	Corrección	
0-20° Flexión	1	Añadir +1 si hay torsión o inclinación lateral	
>20° Flexión o extensión	2		
PIERNAS			
Movimiento	Puntos	Corrección	
Soporte bilateral, andando o sentado	1	Añadir +1 si hay flexión de rodillas entre 30 y 60°	
Soporte unilateral, soporte ligero o postura inestable	2	Añadir +2 si las rodillas están flexionadas + de 60° (salvo postura sedente)	
TRONCO			
Movimiento	Puntos	Corrección	
Erguido	1	Añadir +1 si hay torsión o inclinación lateral	
0-20° Flexión 0-20° Extensión	2		
20-60° Flexión >20° Extensión	3		
>60° Flexión	4		
GRUPO B: ANÁLISIS DE BRAZOS, ANTEBRAZOS Y MUÑECAS			
ANTEBRAZOS			
Movimiento	Puntos		
60-100° Flexión	1		
<60° Flexión >100° Flexión	2		
MUÑECAS			
Movimiento	Puntos	Corrección	
0-15° Flexión/extensión	1	Añadir +1 si hay torsión o desviación lateral	
>0-15° Flexión/extensión	2		
BRAZOS			
Posición	Puntos	Corrección	
0-20° Flexión/extensión	1	Añadir: +1 si hay abducción o rotación. +1 si hay elevación del hombro. -1 si hay apoyo o postura a favor de la gravedad	
>20° Extensión	2		
20-45° Flexión	3		
>90° Flexión	4		

TABLA A						
Piernas			Tronco			
			1	2	3	4
Cuello	1	1	1	2	2	3
		2	2	3	4	5
		3	3	4	5	6
		4	4	5	6	7
	2	1	1	3	4	5
		2	2	4	5	6
		3	3	5	6	7
		4	4	6	7	8
	3	1	3	4	5	6
		2	3	5	6	7
		3	5	6	7	8
		4	6	7	8	9

TABLA B						
Muñeca		Brazo				
		1	2	3	4	5
Antebrazo	1	1	1	3	4	6
		2	2	4	5	7
		3	2	3	5	8
	2	1	1	2	4	7
		2	2	3	5	8
		3	3	4	5	8

Puntuación A	Puntuación B							
		1	2	3	4	5	6	7
	1	1	1	1	2	3	3	4
	2	1	2	2	3	4	4	5
	3	2	3	3	3	4	5	6
	4	3	4	4	4	5	6	7
	5	4	4	4	5	6	7	8
	6	6	6	6	7	8	8	9
	7	7	7	7	8	9	9	9
	8	8	8	8	9	10	10	10
9	9	9	9	10	10	10	11	
10	10	10	10	11	11	11	11	

TABLA CARGA/FUERZA			
0	1	2	+1
< a 5kg	5-10kg	>10kg	instauración rápida o brusca
AGARRE			
0-Bueno	1-Regular	2-Malo	3-Inaceptable
Buen agarre	Aceptable	Posible	Incómodo

NIVELES DE RIESGO Y ACCIÓN			
Nivel de acción	Puntuación	Nivel de riesgo	Intervención y posterior análisis
0	1	Inapreciable	No necesario
1	2-3	Bajo	Puede ser necesario
2	4-7	Medio	Necesario
3	8-10	Alto	Necesario pronto
4	11-15	Muy alto	Actuación inmediata

Tras la realización de la evaluación ergonómica en los distintos centros de trabajo y habiendo analizado las tareas anteriormente nombradas, se concluye que los operarios de mantenimiento de flota presentan los valores más altos de riesgo dentro de los riesgos ergonómicos de los talleres de la empresa. Estos valores se presentan en las extremidades superiores y en el tronco, teniendo que considerar las soluciones óptimas para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Como medida para reducir el riesgo se podría implantar un sistema que reduzca la probabilidad de daño al trabajador, ya que las posturas forzadas y los sobreesfuerzos conllevan consecuencias dañinas para la salud, siendo una alternativa de mejora de estas condiciones de trabajo la utilización de un exoesqueleto.



**Escuela Superior  
de Ingeniería y Tecnología**  
Universidad de La Laguna

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

# **PLANOS**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

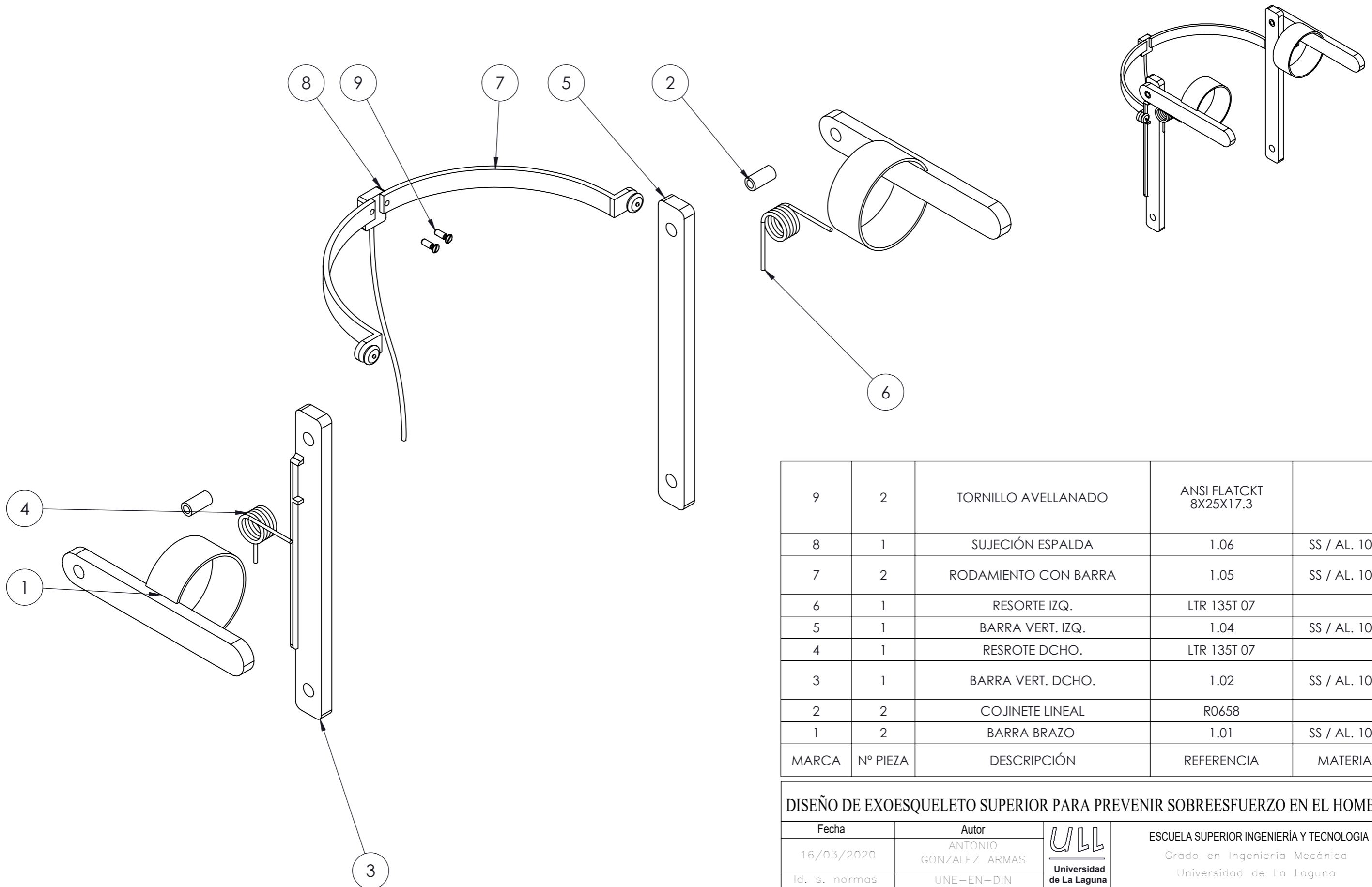
**DISEÑO DE EXOESQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR  
SOBREESFUERZO EN EL HOMBRO**

**Antonio González Armas**

## INDICE

1. Plano de Conjunto exoesqueleto resorte explosionado .....	1
2. Plano barras brazos .....	2
3. Plano barra vertical derecho .....	3
4. Plano barra vertical izquierdo.....	4
5. Plano rodamiento con barra.....	5
6. Plano sujeción espalda .....	6
7. Plano de conjunto exoesqueleto barra deslizable explosionado .....	7
8. Plano barra brazo derecho .....	8
9. Plano barra vertical izquierdo.....	9
10. Plano barra deslizable .....	10
11. Plano rodamiento brazo .....	11
12. Plano barra brazo izquierdo .....	12
13. Plano barra vertical derecho.....	13



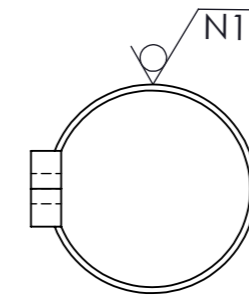
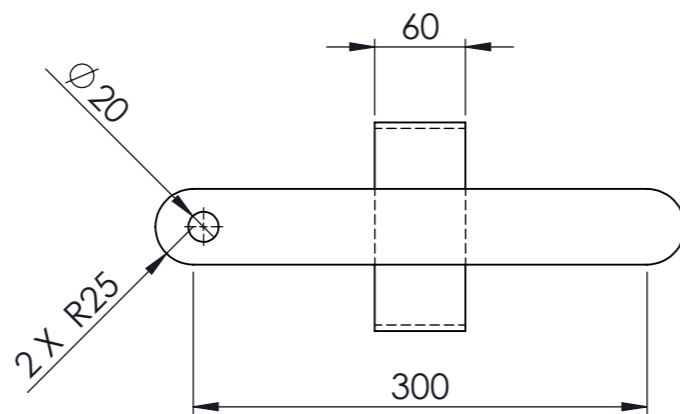
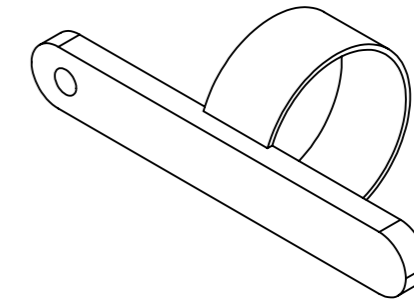
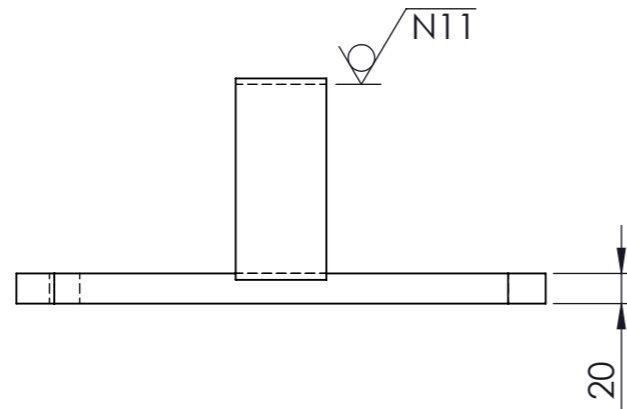


9	2	TORNILLO AVELLANADO	ANSI FLATCKT 8X25X17.3	
8	1	SUJECIÓN ESPALDA	1.06	SS / AL. 1060
7	2	RODAMIENTO CON BARRA	1.05	SS / AL. 1060
6	1	RESORTE IZQ.	LTR 135T 07	
5	1	BARRA VERT. IZQ.	1.04	SS / AL. 1060
4	1	RESROTE DCHO.	LTR 135T 07	
3	1	BARRA VERT. DCHO.	1.02	SS / AL. 1060
2	2	COJINETE LINEAL	R0658	
1	2	BARRA BRAZO	1.01	SS / AL. 1060
MARCA	Nº PIEZA	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

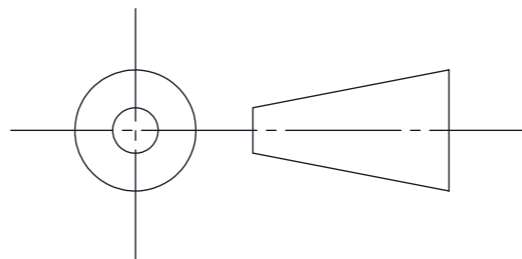
**DISEÑO DE EXOSQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO**

Fecha	Autor	 <b>Universidad de La Laguna</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA</b> Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
16/03/2020	ANTONIO GONZALEZ ARMAS		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		

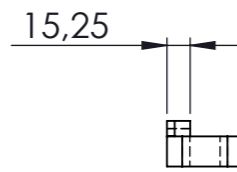
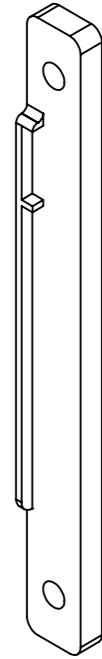
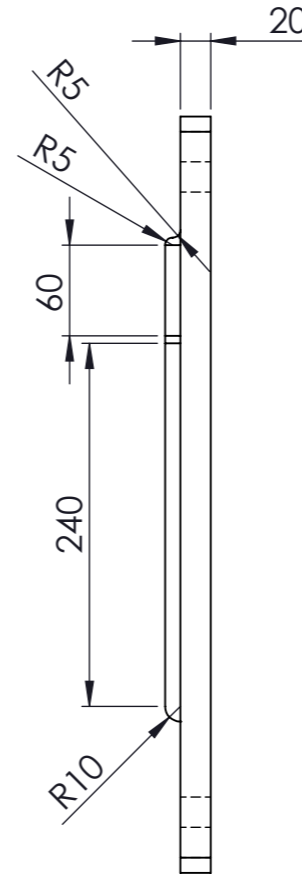
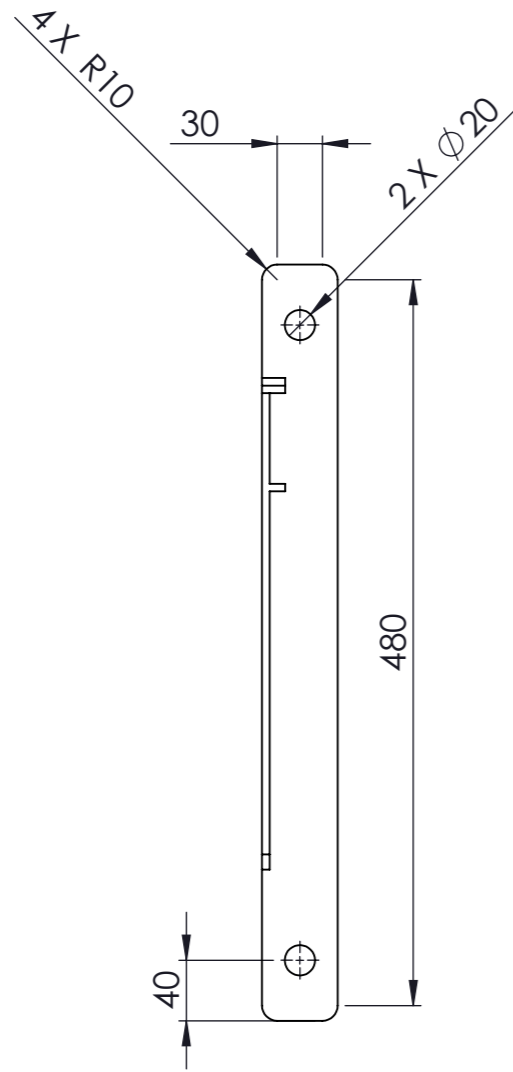
ESCALA: 1:5	<b>PLANO DE CONJUNTO</b> <b>EXOSQUELETO RESORTE EXPLOSIONADO</b>	Nº P.: 1 Nom.Arch: Plano expl. exoesqueleto resorte
----------------	---	--



TOLERANCIAS:  $\pm 0.1$  mm

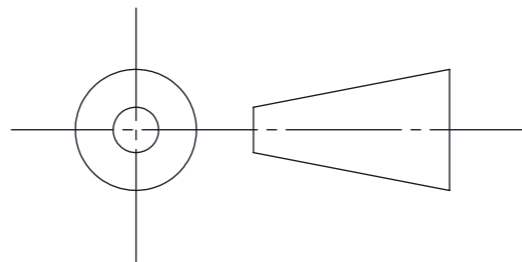



1	2	BARRA BRAZO	1.01	SS / AL. 1060
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL
<b>DISEÑO DE EXOESQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO</b>				
Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
16/03/2020	ANTONIO GONZALEZ ARMAS			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA: 1:5	<b>BARRA BRAZO</b>		Nº P.: 2	Nom.Arch: Plano barra brazos

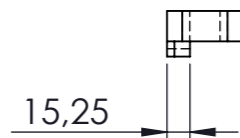
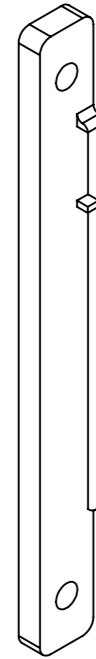
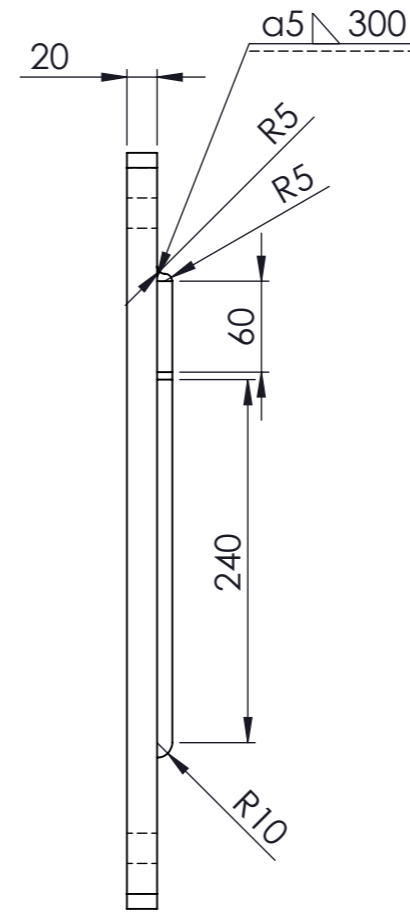
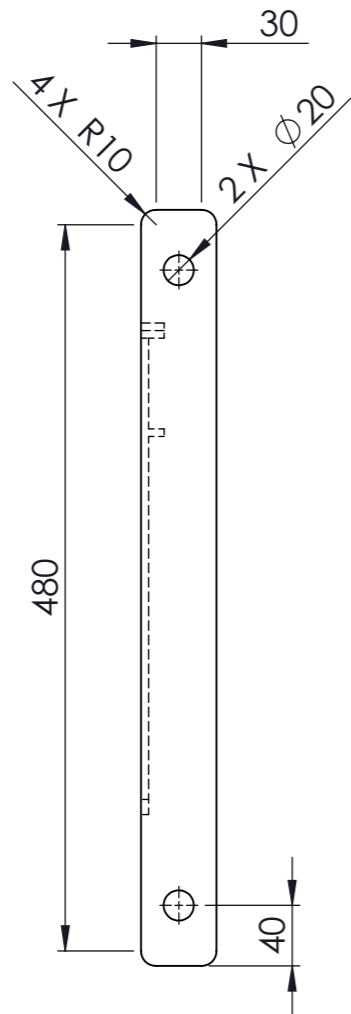



EN TODAS LAS SUPERFICIES

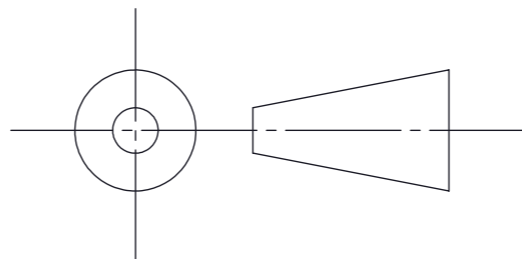
TOLERANCIAS:  $\pm 0.1$  mm



3	1	BARRA VERT. DCHO.	1.02	SS / AL. 1060
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL
<b>DISEÑO DE EXOSQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO</b>				
Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
16/03/2020	ANTONIO GONZALEZ ARMAS			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA: 1:5	<b>BARRA VERTICAL DERECHO</b>		Nº P.: 3	Nom.Arch: Plano barra vertical derecho




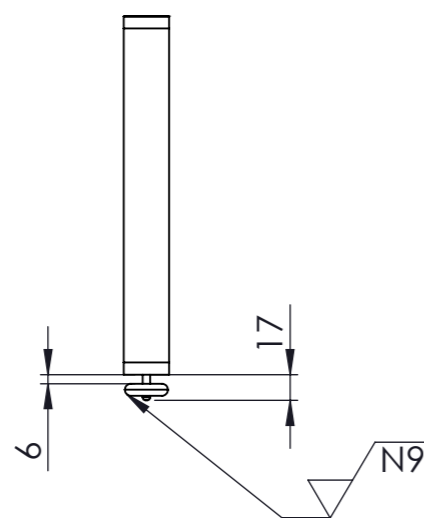
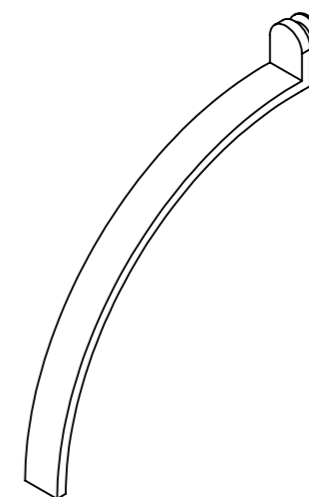
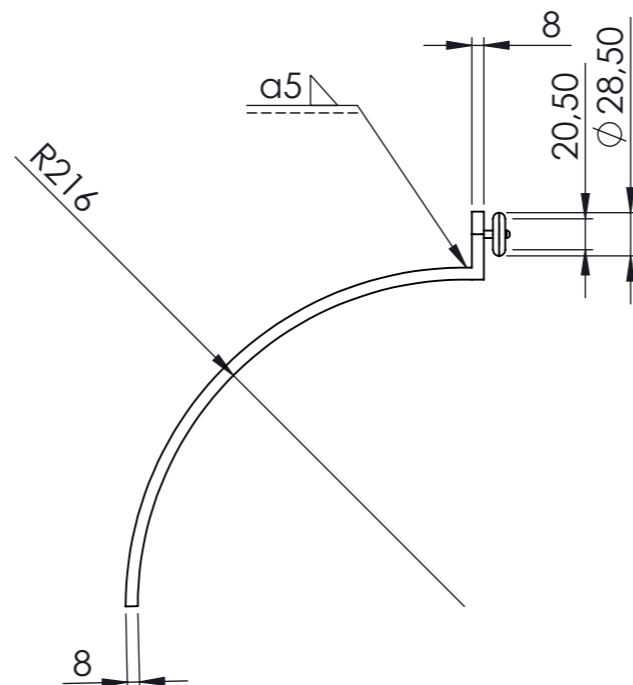
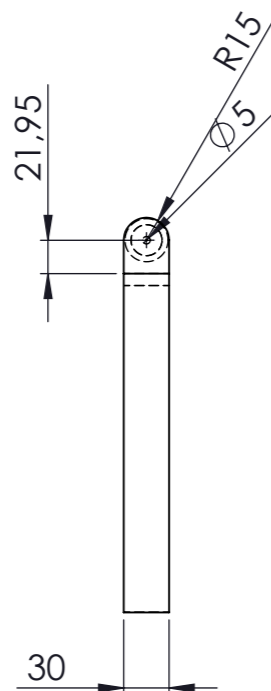
 N7  
 EN TODAS LAS SUPERFICIES  
 TOLERANCIAS:  $\pm 0.1$  mm



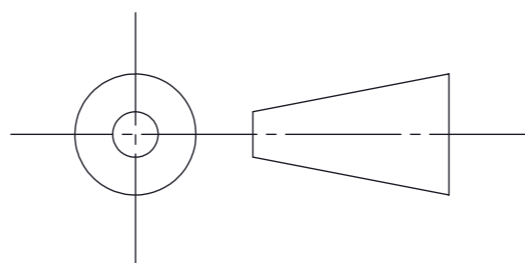
5	1	BARRA VERT. IZQ.	1.04	SS / AL. 1060
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO DE EXOSQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO

Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
16/03/2020	ANTONIO GONZALEZ ARMAS		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:5	BARRA VERTICAL IZQUIERDO		Nº P.: 4 Nom.Arch: Plano barra vertical izquierdo



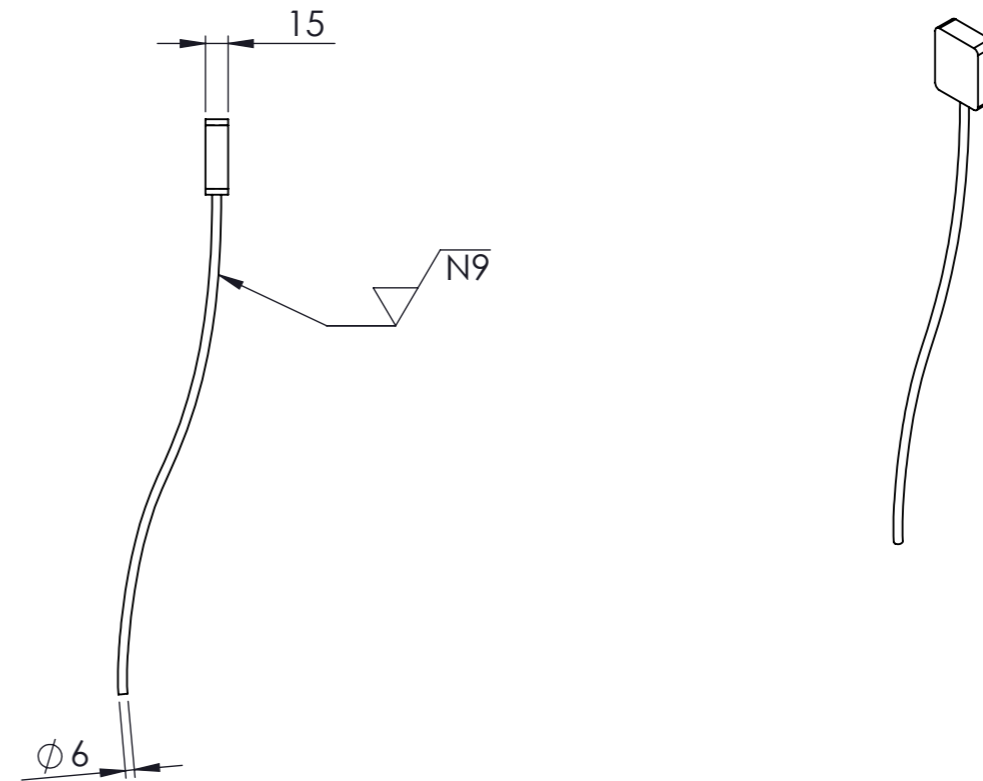
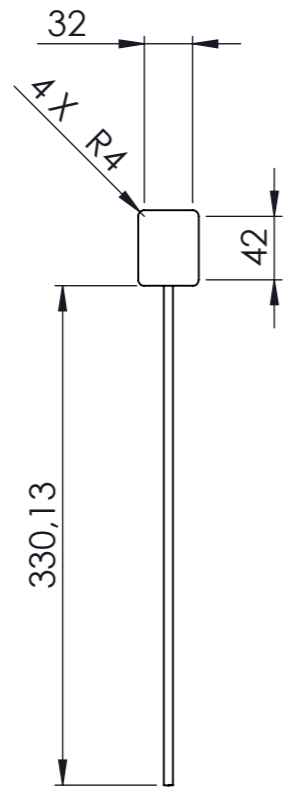
TOLERANCIAS:  $\pm 0.1$  mm



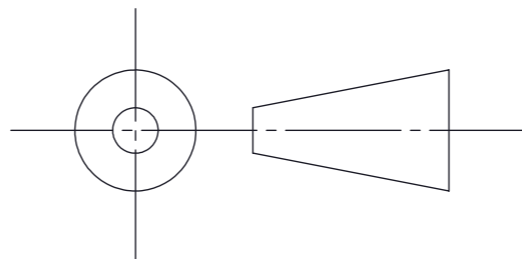
7	2	RODAMIENTO CON BARRA	1.05	SS / AL. 1060
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO DE EXOESQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO

Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
16/03/2020	ANTONIO GONZALEZ ARMAS			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA:	RODAMIENTO CON BARRA		Nº P.: 5	
1:5			Nom.Arch: Plano rodamiento con barra	



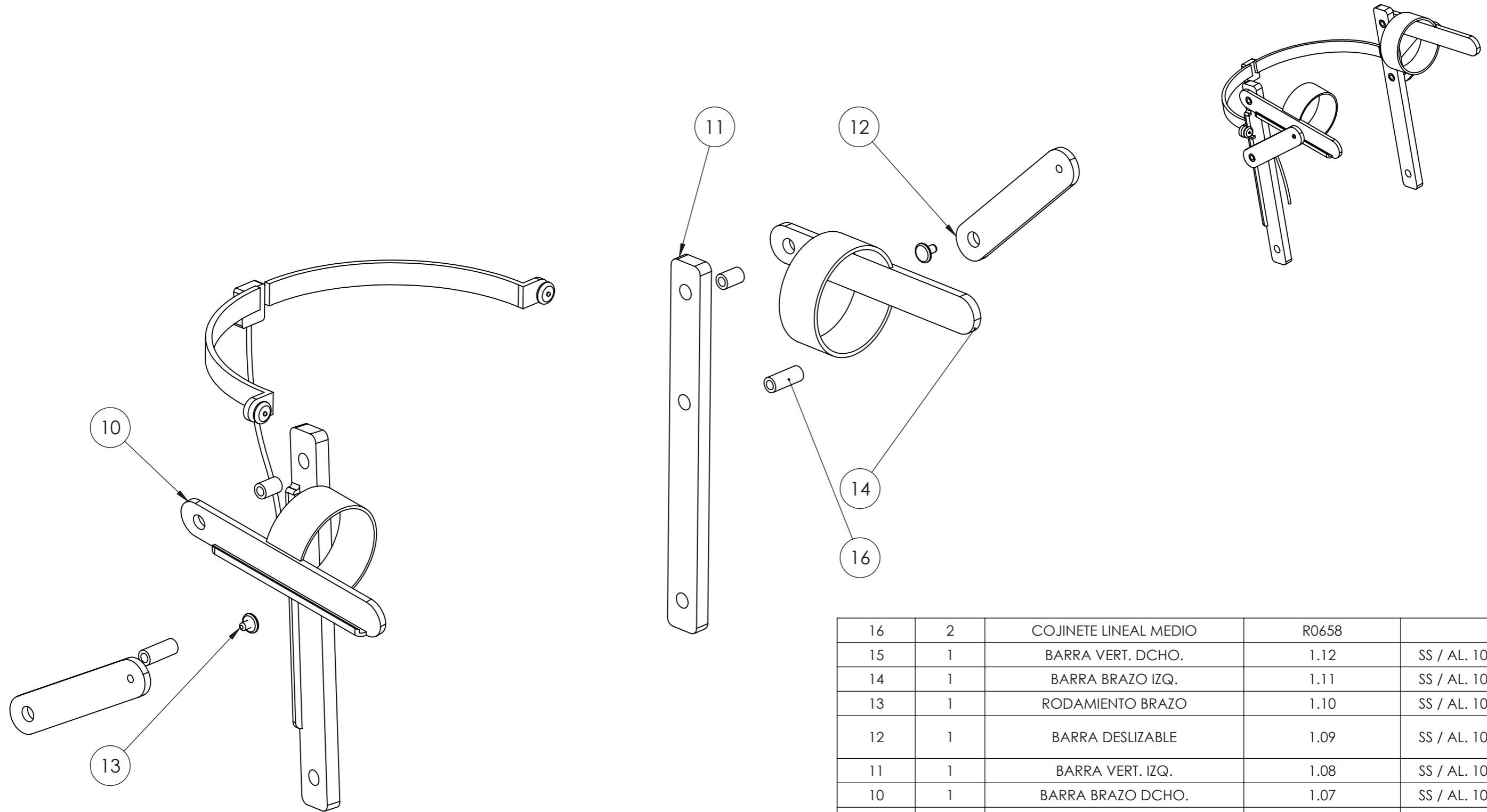
TOLERANCIAS:  $\pm 0.1$  mm



8	1	SUJECIÓN ESPALDA	1.06	SS / AL. 1060
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL


DISEÑO DE EXOESQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO

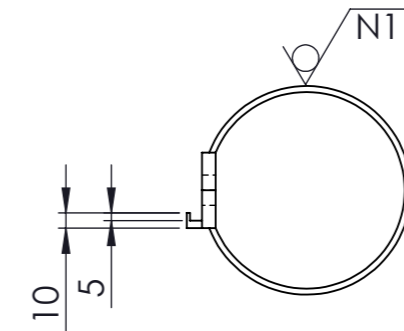
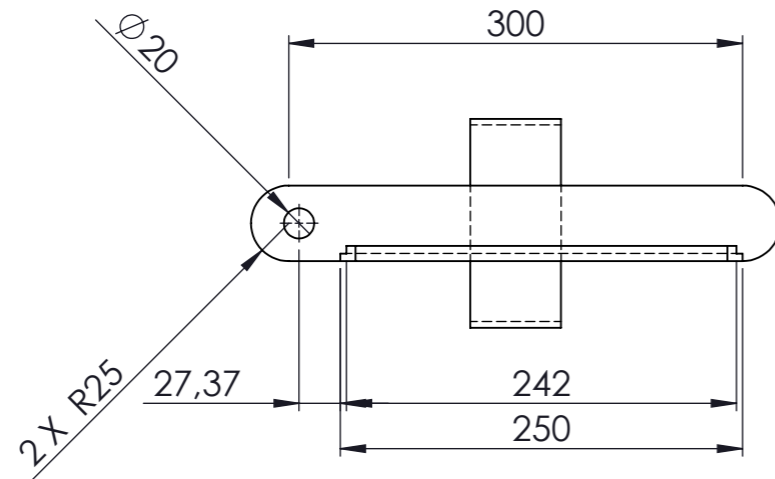
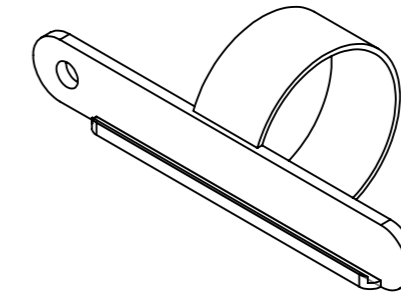
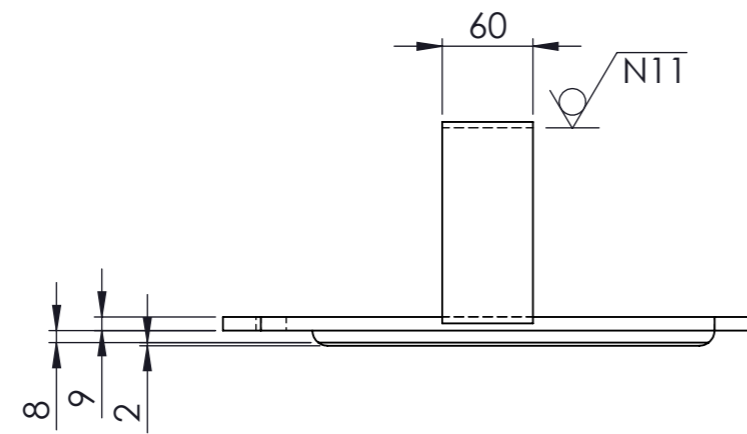
Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
16/03/2020	ANTONIO GONZALEZ ARMAS		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA:	SUJECIÓN ESPALDA		Nº P.: 6
1:5			Nom.Arch: Plano sujeción espalda



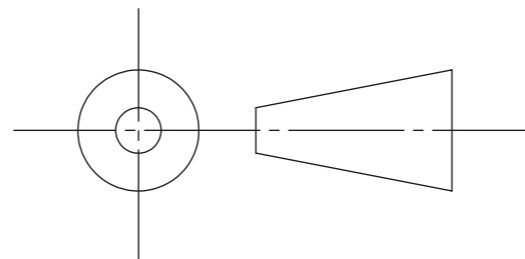
16	2	COJINETE LINEAL MEDIO	R0658	
15	1	BARRA VERT. DCHO.	1.12	SS / AL. 1060
14	1	BARRA BRAZO IZQ.	1.11	SS / AL. 1060
13	1	RODAMIENTO BRAZO	1.10	SS / AL. 1060
12	1	BARRA DESLIZABLE	1.09	SS / AL. 1060
11	1	BARRA VERT. IZQ.	1.08	SS / AL. 1060
10	1	BARRA BRAZO DCHO.	1.07	SS / AL. 1060
MARCA	Nº PIEZA	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

**DISEÑO DE EXOSQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO**

Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
16/03/2020	ANTONIO GONZALEZ ARMAS		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:5	PLANO DE CONJUNTO EXOSQUELETO BARRA DESLIZABLE EXPLOSIONADO		Nº P.: 7 Nom.Arch: Plano expl. exoesqueleto barra




TOLERANCIAS:  $\pm 0.1$  mm

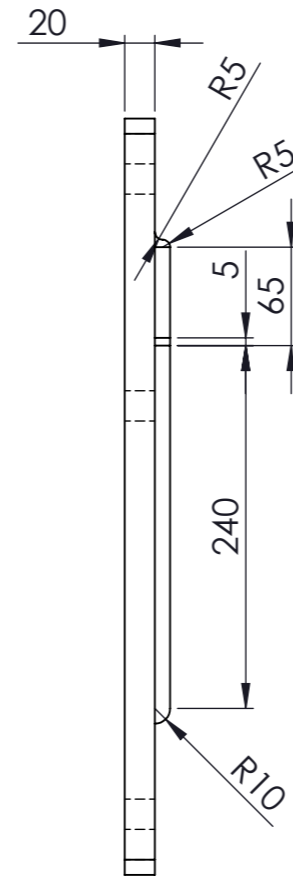
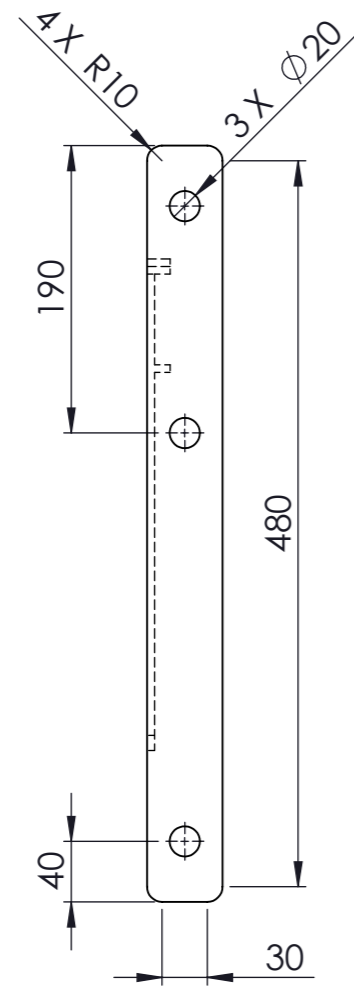
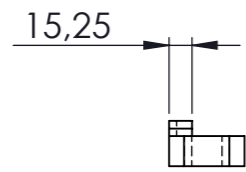


10	1	BARRA BRAZO DCHO.	1.07	SS / AL. 1060
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO DE EXOSQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO

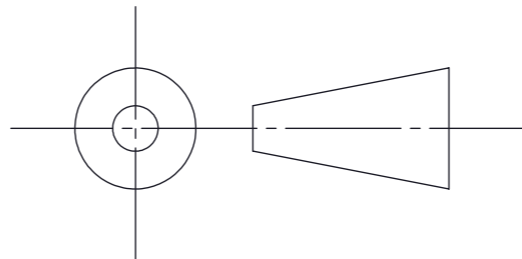
Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
16/03/2020	ANTONIO GONZALEZ ARMAS		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA:	BARRA BRAZO DERECHO		Nº P.: 8
1:5			Nom.Arch: Plano barra brazo derecho





EN TODAS LAS SUPERFICIES

TOLERANCIAS:  $\pm 0.1$  mm

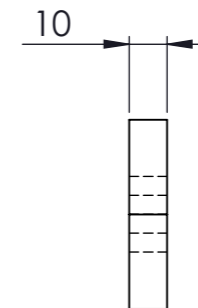
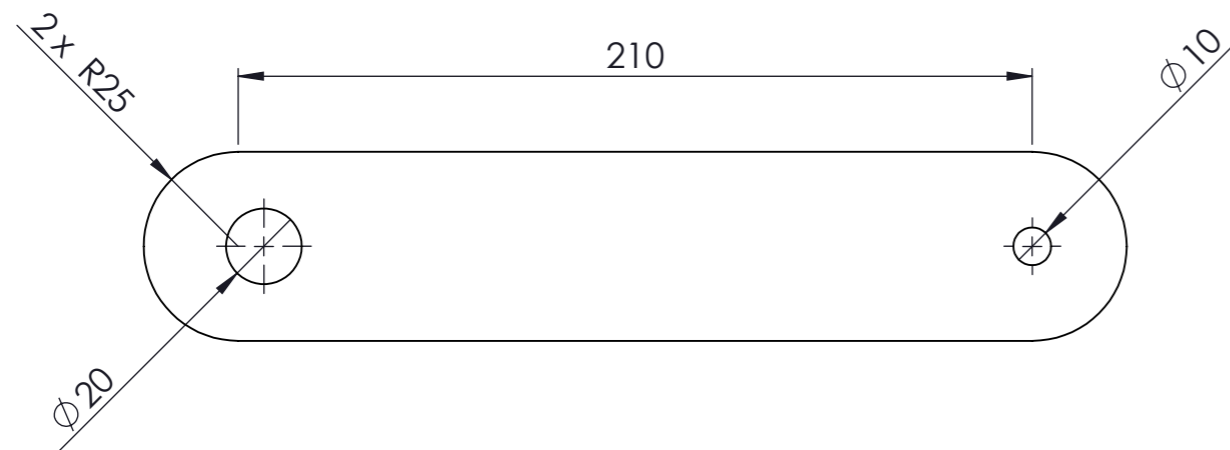
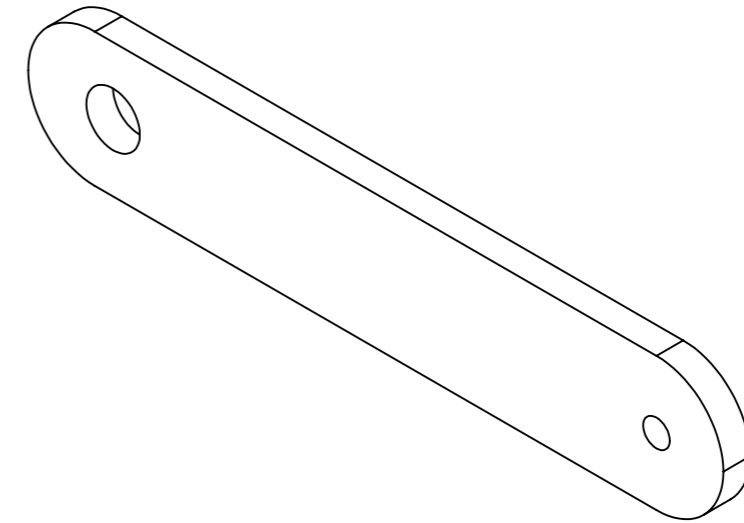
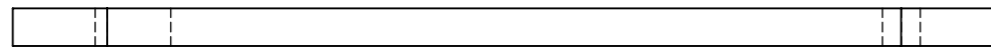



11	1	BARRA VERT. IZQ.	1.08	SS / AL. 1060
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

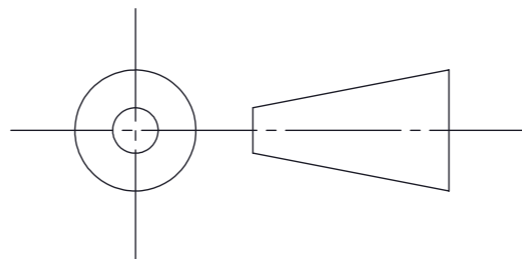
DISEÑO DE EXOESQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO

Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
16/03/2020	ANTONIO GONZALEZ ARMAS		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		

ESCALA: 1:5	BARRA VERTICAL IZQUIERDO	Nº P.: 9 Nom.Arch: Plano barra vertical izquierdo
----------------	--------------------------	--




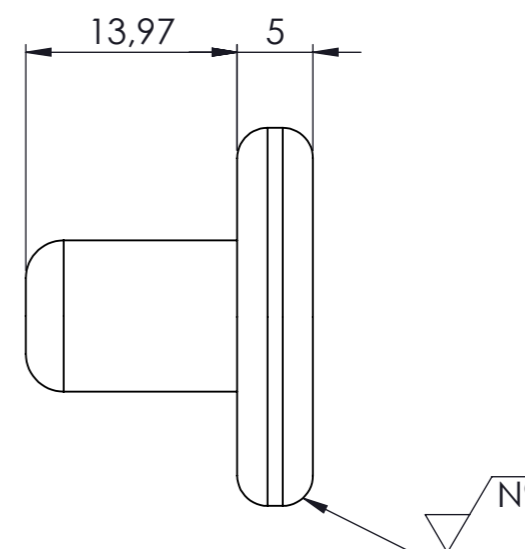
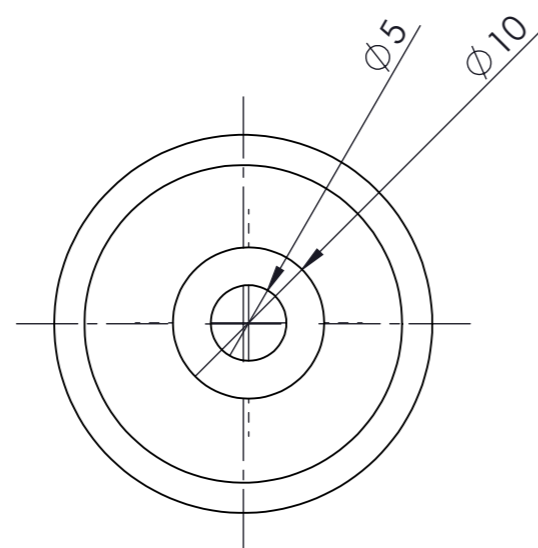
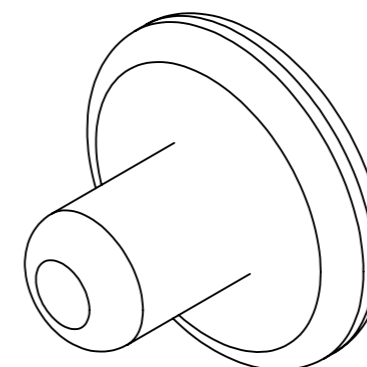
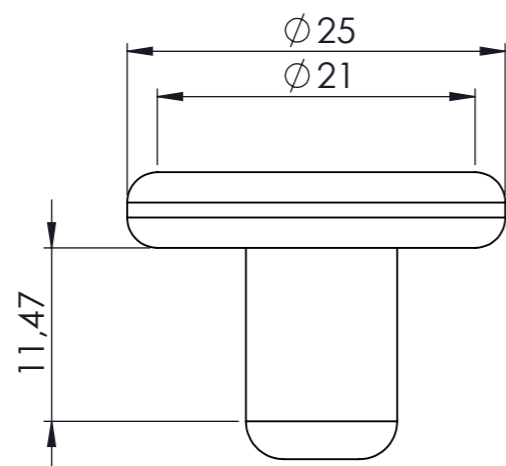
 N7  
 EN TODAS LAS SUPERFICIES  
 TOLERANCIAS:  $\pm 0.1$  mm



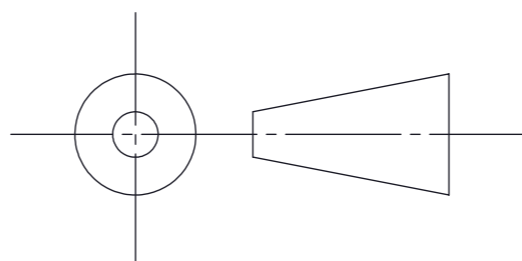
12	2	BARRA DESLIZABLE	1.09	SS / AL. 1060
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL


DISEÑO DE EXOESQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO

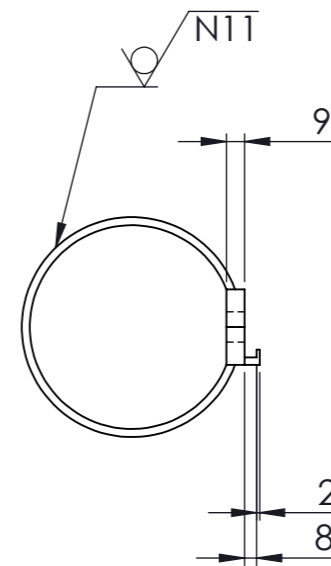
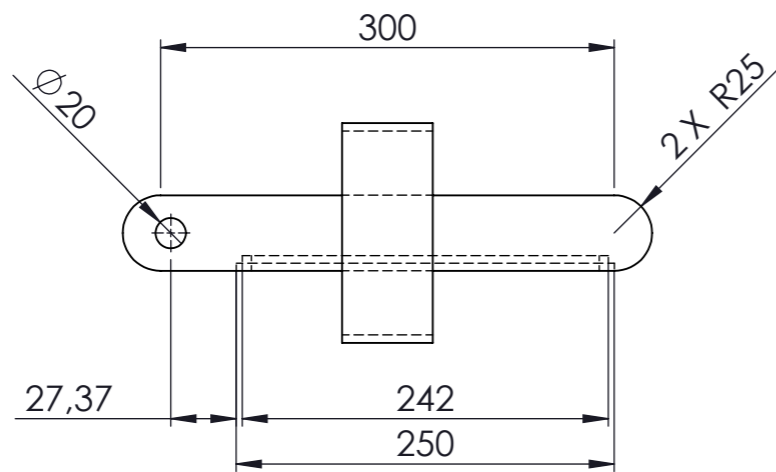
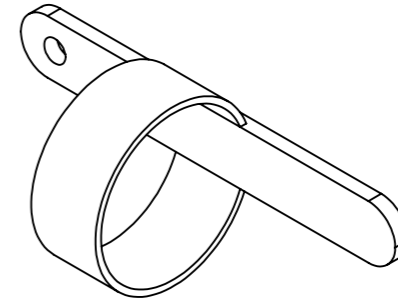
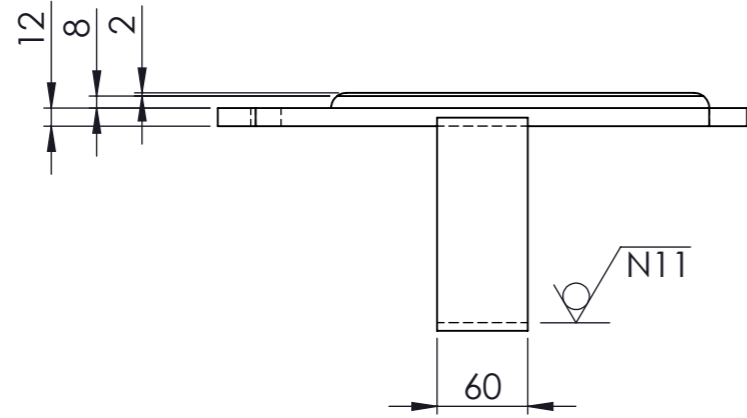
Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
16/03/2020	ANTONIO GONZALEZ ARMAS		Nº P.: 10 Nom.Arch: Plano barra deslizable	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN	ESCALA: 1:2		BARRA DESLIZABLE



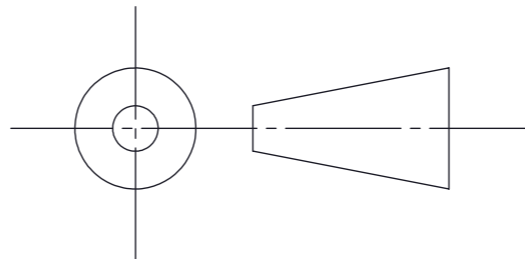
TOLERANCIAS:  $\pm 0.1$  mm



13	2	RODAMIENTO BRAZO	1.10	SS / AL. 1060
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL
<b>DISEÑO DE EXOSQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO</b>				
Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
16/03/2020	ANTONIO GONZALEZ ARMAS			
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA:	<b>RODAMIENTO BRAZO</b>		Nº P.: 11 Nom.Arch: Plano rodamiento brazo	
2:1				



TOLERANCIAS:  $\pm 0.1$  mm

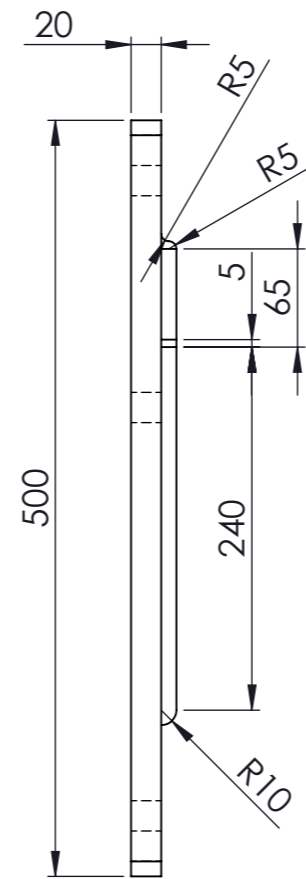
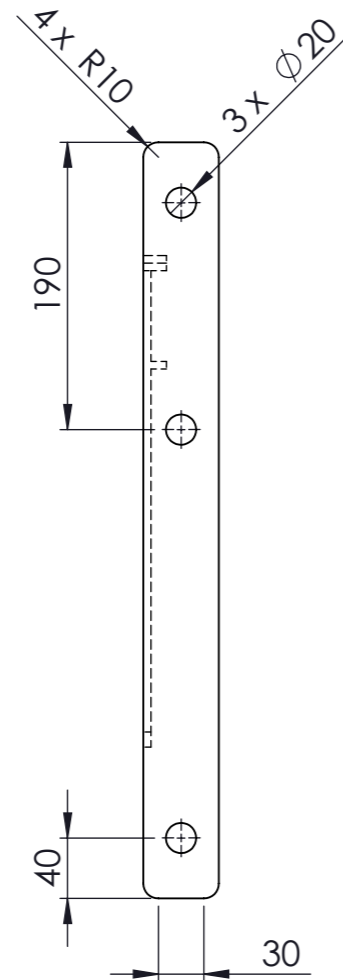
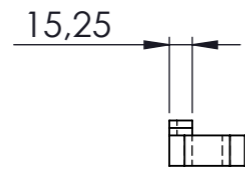



14	1	BARRA BRAZO IZQ.	1.11	SS / AL. 1060
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

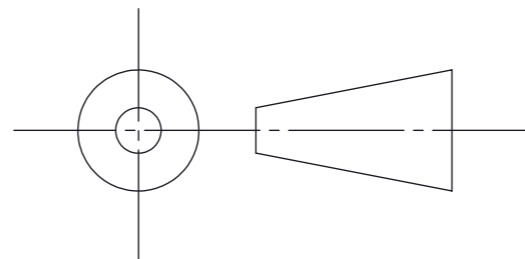
DISEÑO DE EXOESQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO

Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
16/03/2020	ANTONIO GONZALEZ ARMAS		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		

ESCALA:	BARRA BRAZO IZQUIERDO	Nº P.: 12
1:5		Nom.Arch: Plano barra brazo izquierdo



 N7  
 EN TODAS LAS SUPERFICIES  
 TOLERANCIAS:  $\pm 0.1$  mm



15	1	BARRA VERT. DCHO.	1.12	SS / AL. 1060
MARCA	Nº PIEZAS	DESCRPCIÓN	REFERENCIA	MATERIAL

DISEÑO DE EXOSQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO

Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGIA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
16/03/2020	ANTONIO GONZALEZ ARMAS		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		

ESCALA: 1:5	BARRA VERTICAL DERECHO	Nº P.: 13 Nom.Arch: Plano barra vertical derecho
----------------	------------------------	---



**Escuela Superior  
de Ingeniería y Tecnología**  
Universidad de La Laguna

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

# **PRESUPUESTO**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**DISEÑO DE EXOESQUELETO SUPERIOR PARA PREVENIR  
SOBRESFUERZO EN EL HOMBRO**

**Antonio González Armas**

## INDICE

<b>1. EXOESQUELETO PASIVO SUPERIOR DE ACERO ALEADO CON RESORTE .....</b>	<b>2</b>
<b>2. EXOESQUELETO PASIVO SUPERIOR DE ALUMINIO CON RESORTE.....</b>	<b>5</b>
<b>3. EXOESQUELETO PASIVO SUPERIOR DE ACERO ALEADO CON BARRA DESLIZABLE .....</b>	<b>8</b>
<b>4. EXOESQUELETO PASIVO SUPERIOR DE ALUMINIO CON BARRA DESLIZABLE .....</b>	<b>11</b>

## 1. EXOESQUELETO PASIVO SUPERIOR DE ACERO ALEADO CON RESORTE

CAPITULOS		CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)				
<b>CAPÍTULO 01 - MATERIAL</b>				
<b>01.01</b>	ml	<b>Pletina 50x20 mm</b>		
		Pletina de acero aleado de 50 mm de altura y 20 mm de ancho. Pletina viene cada 6 metros y el cálculo en estas barras se considera una pérdida de 3 mm por corte.		
		barra vertical	0,166	
		barra brazo	0,1166	
			0,28	93,18 €
				26,33 €
<b>01.02</b>	ml	<b>Pletina 30x8 mm</b>		
		Pletina de acero aleado de 30 mm de altura y 8 mm de ancho. Pletina viene cada 6 metros y el cálculo en estas barras se considera una pérdida de 3 mm por corte.		
		barra rodamiento	0,144	
		rodamiento	0,0124	
			0,1564	22,57 €
				3,53 €
<b>01.03</b>	ml	<b>Redondo Ø6mm</b>		
		Redondo de acero aleado de 6 mm de diámetro. Los redondos vienen cada 6 metros.		
		redondo rodamiento	0,057	
			0,057	4,98 €
				0,28 €
<b>01.04</b>	ml	<b>Pletina 50x40 mm</b>		
		Pletina de acero aleado de 50 mm de altura y 40 mm de ancho. Pletina viene cada 6 metros y el cálculo en estas barras se considera una pérdida de 3 mm por corte.		
		cuadrado rodamiento	0,0025	
			0,0025	186,24 €
				0,47 €
<b>TOTAL CAPÍTULO 01 MATERIAL</b>				<b>30,61 €</b>



CAPITULOS		CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPÍTULO 02 - MANO DE OBRA</b>				
<b>02.01</b>	<b>h</b>	<b>Mecanizado pieza</b>		
		Mecanizado general de piezas de acero mediante uso de fresadora, dobladora o pulidora.		
		barra vertical	1	
		barra brazo	0,5	
		barra	0,2	
		rodamiento	0,3	
		redondo	0,3	
		rodamiento cuadrado	0,1	
			<hr/>	
			2,4	75,00 €
				180,00 €
<b>02.02</b>	<b>h</b>	<b>Soldadura</b>		
		Proceso de soldadura de piezas de acero		
		barra vertical	1,5	
		cuadrado	0,2	
		rodamiento		
			<hr/>	
			1,7	70,00 €
				119,00 €
<b>TOTAL CAPÍTULO 02 MANO DE OBRA</b>				<b>299,00 €</b>
<b>CAPÍTULO 03 - RODAMIENTOS + COJINETES + RESORTES</b>				
<b>03.01</b>	<b>Ud</b>	<b>Resorte torsión</b>		
		Resorte torsión 90° LTR135T 07 Lee		
		Spring 700,5N*cm		
			<hr/>	
			2	11,56 €
				23,12 €
<b>03.02</b>	<b>Ud</b>	<b>Cojinete lineal</b>		
		Cojinete lineal R0658		
			<hr/>	
			2	1,92 €
				3,84 €
<b>03.03</b>	<b>Ud</b>	<b>Rodamiento</b>		
		Rodamiento lateral		
			<hr/>	
			2	7,11 €
				14,22 €
<b>TOTAL CAPÍTULO 03 RODAMIENTOS + COJINETES + RESORTES</b>				<b>41,18 €</b>

CAPITULOS		CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPÍTULO 04 - TORNILLERÍA</b>				
04.01	Ud	ANSI FLATCKT		
		ANSI FLATCKT 8X25X17.3		
			2	27,89 €
				55,78 €
		<b>TOTAL CAPÍTULO 04 TORNILLERÍA</b>		<b>55,78 €</b>
		<b>TOTAL PEM</b>		<b>426,57 €</b>
		PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) = PEM + GG + BI		
		GASTOS GENERALES (GG) = 13%PEM		55,45 €
		BENEFICIO INDUSTRIAL (BI) = 6%PEM		25,59 €
		<b>TOTAL PEC</b>		<b>507,62 €</b>
		PRESUPUESTO TOTAL (PT) = PEC + IGIC		
		IMPUESTO GENERAL INDIRECTO CANARIO(IGIC)= 7%PEC		35,53 €
		<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>		<b>543,15 €</b>

El presupuesto total para la fabricación del exoesqueleto pasivo superior de acero aleado con resorte, asciende a la cantidad de QUINIENTOS CUARENTA Y TRES EUROS CON QUINCE CÉNTIMOS.

## 2. EXOESQUELETO PASIVO SUPERIOR DE ALUMINIO CON RESORTE

CAPITULOS		CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)				
<b>CAPÍTULO 01 - MATERIAL</b>				
<b>01.01</b>	ml	<b>Pletina 50x20 mm</b> Pletina de aluminio de 50 mm de altura y 20 mm de ancho. Pletina viene cada 6 metros y el cálculo en estas barras se considera una pérdida de 3 mm por corte.		
		barra vertical	0,166	
		barra brazo	0,1166	
			0,28	87,12 €
				24,62 €
<b>01.02</b>	ml	<b>Pletina 30x8 mm</b> Pletina de aluminio de 30 mm de altura y 8 mm de ancho. Pletina viene cada 6 metros y el cálculo en estas barras se considera una pérdida de 3 mm por corte.		
		barra rodamiento	0,144	
		rodamiento	0,0124	
			0,1564	20,67 €
				3,23 €
<b>01.03</b>	ml	<b>Redondo Ø6mm</b> Redondo de aluminio de 6 mm de diámetro. Los redondos vienen cada 6 metros.		
		redondo rodamiento	0,057	
			0,057	6,63 €
				0,38 €
<b>01.04</b>	ml	<b>Pletina 50x40 mm</b> Pletina de aluminio de 50 mm de altura y 40 mm de ancho. Pletina viene cada 6 metros y el cálculo en estas barras se considera una pérdida de 3 mm por corte.		
		cuadrado rodamiento	0,0025	
			0,0025	164,34 €
				0,41 €
<b>TOTAL CAPÍTULO 01 MATERIAL</b>				<b>28,64 €</b>

CAPITULOS		CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPÍTULO 02 - MANO DE OBRA</b>				
<b>02.01</b>	<b>h</b>	<b>Mecanizado pieza</b>		
		Mecanizado general de piezas de aluminio mediante uso de fresadora, dobladora o pulidora.		
		barra vertical	1	
		barra brazo	0,5	
		barra	0,2	
		rodamiento	0,3	
		redondo	0,3	
		rodamiento cuadrado	0,1	
			<u>2,4</u>	<u>75,00 €</u>
				<u>180,00 €</u>
<b>02.02</b>	<b>h</b>	<b>Soldadura</b>		
		Proceso de soldadura de piezas de aluminio		
		barra vertical	1,5	
		cuadrado	0,2	
		rodamiento		
			<u>1,7</u>	<u>120,00 €</u>
				<u>204,00 €</u>
<b>TOTAL CAPÍTULO 02 MANO DE OBRA</b>				<b>384,00 €</b>
<b>CAPÍTULO 03 - RODAMIENTOS + COJINETES + RESORTES</b>				
<b>03.01</b>	<b>Ud</b>	<b>Resorte torsión</b>		
		Resorte torsión 90° LTR135T 07 Lee		
		Spring 700,5N*cm		
			<u>2</u>	<u>11,56 €</u>
				<u>23,12 €</u>
<b>03.02</b>	<b>Ud</b>	<b>Cojinete lineal</b>		
		Cojinete lineal R0658		
			<u>2</u>	<u>1,92 €</u>
				<u>3,84 €</u>
<b>03.03</b>	<b>Ud</b>	<b>Rodamiento</b>		
		Rodamiento lateral		
			<u>2</u>	<u>7,11 €</u>
				<u>14,22 €</u>
<b>TOTAL CAPÍTULO 03 RODAMIENTOS + COJINETES + RESORTES</b>				<b>41,18 €</b>

CAPITULOS			CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPÍTULO 04 - TORNILLERÍA</b>					
<b>04.01</b>	Ud	ANSI FLATCKT ANSI FLATCKT 8X25X17.3			
			2	27,89 €	55,78 €
		<b>TOTAL CAPÍTULO 04 TORNILLERÍA</b>			<b>55,78 €</b>
		<b>TOTAL PEM</b>			<b>509,60 €</b>
		PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) = PEM + GG + BI			
		GASTOS GENERALES (GG) = 13%PEM			66,25 €
		BENEFICIO INDUSTRIAL (BI) = 6%PEM			30,58 €
		<b>TOTAL PEC</b>			<b>606,43 €</b>
		PRESUPUESTO TOTAL (PT) = PEC + IGIC			
		IMPUESTO GENERAL INDIRECTO CANARIO(IGIC)= 7%PEC			42,45 €
		<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>			<b>648,88 €</b>

El presupuesto total para la fabricación del exoesqueleto pasivo superior de aluminio con resorte, asciende a la cantidad de SEISCIENTOS CUARENTA Y OCHO EUROS CON OCHENTA Y OCHO CÉNTIMOS.

### 3. EXOESQUELETO PASIVO SUPERIOR DE ACERO ALEADO CON BARRA DESLIZABLE

CAPITULOS		CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)				
<b>CAPÍTULO 01 - MATERIAL</b>				
<b>01.01</b>	ml	<b>Pletina 50x20 mm</b>		
		Pletina de acero aleado de 50 mm de altura y 20 mm de ancho. Pletina viene cada 6 metros y el cálculo en estas barras se considera una pérdida de 3 mm por corte.		
		barra vertical	0,166	
			0,17	93,18 €
				15,47 €
<b>01.01</b>	ml	<b>Pletina 50x10 mm</b>		
		Pletina de acero aleado de 50 mm de altura y 10 mm de ancho. Pletina viene cada 6 metros y el cálculo en estas barras se considera una pérdida de 3 mm por corte.		
		barra brazo	0,1166	
		barra deslizable	0,035	
			0,15	47,11 €
				7,14 €
<b>01.02</b>	ml	<b>Pletina 30x8 mm</b>		
		Pletina de acero aleado de 30 mm de altura y 8 mm de ancho. Pletina viene cada 6 metros y el cálculo en estas barras se considera una pérdida de 3 mm por corte.		
		barra rodamiento	0,144	
		rodamiento	0,0124	
			0,1564	22,57 €
				3,53 €
<b>01.03</b>	ml	<b>Redondo Ø6mm</b>		
		Redondo de acero aleado de 6 mm de diámetro. Los redondos vienen cada 6 metros.		
		redondo rodamiento	0,057	
			0,057	4,98 €
				0,28 €
<b>01.04</b>	ml	<b>Pletina 50x40 mm</b>		
		Pletina de acero aleado de 50 mm de altura y 40 mm de ancho. Pletina viene cada 6 metros y el cálculo en estas barras se considera una pérdida de 3 mm por corte.		
		cuadrado rodamiento	0,0025	
			0,0025	186,24 €
				0,47 €
<b>TOTAL CAPÍTULO 01 MATERIAL</b>				<b>26,89 €</b>

CAPITULOS		CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPÍTULO 02 - MANO DE OBRA</b>				
<b>02.01</b>	<b>h</b>	<b>Mecanizado pieza</b>		
		Mecanizado general de piezas de acero mediante uso de fresadora, dobladora o pulidora.		
		barra vertical	1	
		barra brazo	0,5	
		barra deslizable	0,5	
		barra rodamiento	0,2	
		rodamiento	0,3	
		redondo rodamiento	0,3	
		cuadrado rodamiento	0,1	
			<hr/>	
			2,9	75,00 €
				217,50 €
<b>02.02</b>	<b>h</b>	<b>Soldadura</b>		
		Proceso de soldadura de piezas de acero		
		barra vertical	1,5	
		cuadrado rodamiento	0,2	
			<hr/>	
			1,7	70,00 €
				119,00 €
<b>TOTAL CAPÍTULO 02 MANO DE OBRA</b>				<b>336,50 €</b>
<b>CAPÍTULO 03 - RODAMIENTOS + COJINETES</b>				
<b>03.01</b>	<b>Ud</b>	<b>Cojinete lineal</b>		
		Cojinete lineal R0658		
			<hr/>	
			4	1,92 €
				7,68 €
<b>03.02</b>	<b>Ud</b>	<b>Rodamiento</b>		
		Rodamiento lateral		
			<hr/>	
			2	7,11 €
				14,22 €
<b>03.03</b>	<b>Ud</b>	<b>Rodamiento</b>		
		Rodamiento brazo		
			<hr/>	
			2	6,01 €
				12,02 €
<b>TOTAL CAPÍTULO 03 RODAMIENTOS + COJINETES</b>				<b>33,92 €</b>

CAPITULOS		CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPÍTULO 04 - TORNILLERÍA</b>				
04.01	Ud	ANSI FLATCKT		
		ANSI FLATCKT 8X25X17.3		
			2	27,89 €
				55,78 €
		<b>TOTAL CAPÍTULO 04 TORNILLERÍA</b>		<b>55,78 €</b>
		<b>TOTAL PEM</b>		<b>453,09 €</b>
		PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) = PEM + GG + BI		
		GASTOS GENERALES (GG) = 13%PEM		58,90 €
		BENEFICIO INDUSTRIAL (BI) = 6%PEM		27,19 €
		<b>TOTAL PEC</b>		<b>539,18 €</b>
		PRESUPUESTO TOTAL (PT) = PEC + IGIC		
		IMPUESTO GENERAL INDIRECTO CANARIO(IGIC)= 7%PEC		37,74 €
		<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>		<b>576,92 €</b>

El presupuesto total para la fabricación del exoesqueleto pasivo superior de acero aleado con barra deslizable, asciende a la cantidad de QUINIENTOS SETENTA Y SEIS EUROS CON NOVENTA Y DOS CÉNTIMOS.



## 4. EXOESQUELETO PASIVO SUPERIOR DE ALUMINIO CON BARRA DESLIZABLE

CAPITULOS		CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)				
<b>CAPÍTULO 01 - MATERIAL</b>				
<b>01.01</b>	ml	<b>Pletina 50x20 mm</b> Pletina de aluminio de 50 mm de altura y 20 mm de ancho. Pletina viene cada 6 metros y el cálculo en estas barras se considera una pérdida de 3 mm por corte.		
		barra vertical	0,166	
			0,17	87,12 €
				14,46 €
<b>01.01</b>	ml	<b>Pletina 50x10 mm</b> Pletina de aluminio de 50 mm de altura y 10 mm de ancho. Pletina viene cada 6 metros y el cálculo en estas barras se considera una pérdida de 3 mm por corte.		
		barra brazo	0,1166	
		barra deslizante	0,035	
			0,15	43,07 €
				6,53 €
<b>01.02</b>	ml	<b>Pletina 30x8 mm</b> Pletina de aluminio de 30 mm de altura y 8 mm de ancho. Pletina viene cada 6 metros y el cálculo en estas barras se considera una pérdida de 3 mm por corte.		
		barra rodamiento	0,144	
		rodamiento	0,0124	
			0,1564	20,67 €
				3,23 €
<b>01.03</b>	ml	<b>Redondo Ø6mm</b> Redondo de aluminio de 6 mm de diámetro. Los redondos vienen cada 6 metros.		
		redondo rodamiento	0,057	
			0,057	6,63 €
				0,38 €
<b>01.04</b>	ml	<b>Pletina 50x40 mm</b> Pletina de aluminio de 50 mm de altura y 40 mm de ancho. Pletina viene cada 6 metros y el cálculo en estas barras se considera una pérdida de 3 mm por corte.		
		cuadrado rodamiento	0,0025	
			0,0025	164,34 €
				0,41 €
<b>TOTAL CAPÍTULO 01 MATERIAL</b>				<b>25,01 €</b>

CAPITULOS		CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPÍTULO 02 - MANO DE OBRA</b>				
<b>02.01</b>	<b>h</b>	<b>Mecanizado pieza</b>		
		Mecanizado general de piezas de aluminio mediante uso de fresadora, dobladora o pulidora.		
		barra vertical	1	
		barra brazo	0,5	
		barra deslizable	0,5	
		barra rodamiento	0,2	
		rodamiento	0,3	
		rodamiento redondo	0,3	
		rodamiento cuadrado	0,1	
			<hr/>	
			2,9	75,00 €
				217,50 €
<b>02.02</b>	<b>h</b>	<b>Soldadura</b>		
		Proceso de soldadura de piezas de aluminio		
		barra vertical	1,5	
		rodamiento cuadrado	0,2	
			<hr/>	
			1,7	120,00 €
				204,00 €
<b>TOTAL CAPÍTULO 02 MANO DE OBRA</b>				<b>421,50 €</b>
<b>CAPÍTULO 03 - RODAMIENTOS + COJINETES</b>				
<b>03.01</b>	<b>Ud</b>	<b>Cojinete lineal</b>		
		Cojinete lineal R0658		
			<hr/>	
			4	1,92 €
				7,68 €
<b>03.02</b>	<b>Ud</b>	<b>Rodamiento</b>		
		Rodamiento lateral		
			<hr/>	
			2	7,11 €
				14,22 €
<b>03.03</b>	<b>Ud</b>	<b>Rodamiento</b>		
		Rodamiento brazo		
			<hr/>	
			2	6,01 €
				12,02 €
<b>TOTAL CAPÍTULO 03 RODAMIENTOS + COJINETES</b>				<b>33,92 €</b>

CAPITULOS			CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPÍTULO 04 - TORNILLERÍA</b>					
<b>04.01</b>	Ud	ANSI FLATCKT			
		ANSI FLATCKT 8X25X17.3			
			2	27,89 €	55,78 €
		<b>TOTAL CAPÍTULO 04 TORNILLERÍA</b>			<b>55,78 €</b>
		<b>TOTAL PEM</b>			<b>536,21 €</b>
		PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) = PEM + GG + BI			
		GASTOS GENERALES (GG) = 13%PEM			69,71 €
		BENEFICIO INDUSTRIAL (BI) = 6%PEM			32,17 €
		<b>TOTAL PEC</b>			<b>638,09 €</b>
		PRESUPUESTO TOTAL (PT) = PEC + IGIC			
		IMPUESTO GENERAL INDIRECTO CANARIO(IGIC)= 7%PEC			44,67 €
		<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>			<b>682,76 €</b>

El presupuesto total para la fabricación del exoesqueleto pasivo superior de acero aleado con barra deslizante, asciende a la cantidad de SEISCIENTOS OCHENTA Y DOS EUROS CON SETENTA Y SEIS CÉNTIMOS.