



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

# **UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería de Diseño y Desarrollo de Producto**

**Diseño, desarrollo y prototipado de un sistema de  
posicionado de columna vertebral con medición  
de fuerzas y desplazamientos aplicados para  
pacientes con escoliosis.**

**Autor:**

**Álvarez Arcos, Alberto**

**Tutor:**

**Mansilla Gallo, Alberto**

**Dpto. Ciencia de los Materiales e Ingeniería  
Metalúrgica, Expresión Gráfica en la Ingeniería,  
Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría,  
Ingeniería Mecánica e Ingeniería de los Procesos  
de Fabricación**

**Valladolid, Julio 2023**



---

**Universidad de Valladolid**





## AGRADECIMIENTOS

Quiero empezar este proyecto agradeciendo a todas las personas que me han apoyado durante esta etapa universitaria y durante el desarrollo de este proyecto.

A mi tutor Alberto Mansilla por su ayuda y por haberme dado la oportunidad de aprender tanto durante este proyecto.

Mencionar a mis amigos cuyo apoyo ha sido fundamental para llegar a este punto. Sin ellos todo el proceso no hubiera sido igual de llevadero

Quiero agradecer a mi familia, en especial a mis padres, Vicky y Javi, y a mi hermana María, por el apoyo incondicional durante todos estos años, sin vosotros no hubiera llegado a alcanzar esta meta.



## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>4</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>7</b>
<b>PALABRAS CLAVE</b>	<b>7</b>
<b>1.INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
1.1 Contexto y objetivos del proyecto	10
1.2 Métodos de medida de la escoliosis	12
1.3 Tipos de Corsés	15
1.4 Tecnología de Impresión 3D	17
1.5 Escaneado 3D	21
<b>2.DISEÑO DEL SISTEMA</b>	<b>23</b>
2.1 Normativa	24
2.2 Estado del arte	25
2.3 Estudio Ergonómico	30
2.4 Descripción general del sistema	33
2.5 Componentes	38
<b>3.MODELO FINAL</b>	<b>51</b>
3.1 Funcionamiento	52
3.2 Fabricación	60
3.3 Prototipo realizado	63
3.4. Coste de Material	65
<b>4.CONCLUSIONES</b>	<b>71</b>
<b>5. LÍNEAS FUTURAS</b>	<b>73</b>
<b>6. ANEJOS</b>	<b>75</b>
6.1 Planos	76
6.2 Cálculos de vida de los husillos	95
6.3 Análisis de esfuerzos en los componentes	98
6.4 Ficha técnica de los sensores	107
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>122</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 Fabricación molde de escayola	10
Fig.2 Ejemplo de escoliosis	12
Fig.3 Método Adams	13
Fig.4 Tabla ángulo de Cobb	13
Fig.5 Ejemplos de toma del ángulo de Cobb	14
Fig.6 Corsé de Boston	15
Fig.7 Corsé de Milwaukee	15
Fig.8 Corsé de Charleston	16
Fig.9 Corsé de Cheneau	16
Fig.10 Corsé impreso en 3D	16
Fig.11 Impresión en 3D	17
Fig.12 Proceso FMD	19
Fig.13 Nube de puntos	21
Fig.14 Escaneado por luz estructurada	22
Fig.15 Escaner Einscan Pro	22
Fig.16 Sistema de posicionamiento Providence	26
Fig.17 Esquema de patente WO 2018130738	27
Fig.18 Posicionamiento del paciente	28
Fig.19 Esquema de patente EP 3653179 (A1)	29
Fig.20 Brazo medidor inicial	34
Fig.21 Modelo final	35
Fig.22 Primera idea del sistema	36
Fig.23 Diseño final del sistema	37
Fig.24 Husillo de bolas	38
Fig.25 Husillo Trapezoidal	39
Fig.26 Tipos de tuercas de Husillo	39
Fig.27 Modelo de tuerca utilizado	40
Fig.28 Soportes del husillo	40
Fig.29 Guía lineal	41
Fig.30 Esquema funcionamiento sensor piezoeléctrico	42
Fig.31 Material piezoeléctrico laminado	42
Fig.32 Esquema funcionamiento sensor extensiométrico	43



Fig.33 Galga extensiométrica	43
Fig.34 Diferentes formatos de células de carga	43
Fig.35 Producto escogido	44
Fig.36 Funcionamiento sensor magnético	45
Fig.37 Funcionamiento encoder óptico	46
Fig.38 Funcionamiento encoder inductivos	47
Fig.39 Funcionamiento encoder capacitivo	47
Fig.40 Ejemplos de encoders rotativos y lineales	48
Fig.41 Encoder escogido, LM15	49
Fig.42 Vistas pala de contacto	52
Fig.43 Acople del sensor	53
Fig.44 Montaje del sensor	53
Fig.45 Vistas pala de contacto	54
Fig.46 Vistas pala de contacto	54
Fig.47 Montaje del soporte del encoder	55
Fig.48 Montaje del soporte del encoder	55
Fig.49 Base del husillo	56
Fig.50 Sistema de freno	56
Fig.51 Freno cerrado	57
Fig.52 Sistema de elevación	57
Fig.53 Vistas pala de contacto	58
Fig.54 Vistas pala de contacto	58
Fig.55 Estructura completa	59
Fig.56 Interfaz de Cura	60
Fig.57 Creality CR10	61
Fig.58 Proceso de impresión	61
Fig.59 Esquema del montaje de los perfiles	62
Fig.60 Montaje brazo medidor	63
Fig.61 Vista superior brazo medidor	63
Fig.62 Detalle del sistema de freno	64
Fig.63 Estructura principal montada	64
Fig.64 Ejemplo de actuación de brazo sobre paciente	65
Fig.65 Tabla de fuerzas de pandeo	96
Fig.66 Diagramas tubos guía	97



Fig.67 Sección 10x1	98
Fig.68 Sección 45x90	98
Fig.69 Esquema esfuerzos tubos guía	99
Fig.70 Diagramas tubos guía	99
Fig.71 Resultados de análisis	100
Fig.72 Diagramas cargas radiales tubos guía	101
Fig.73 Diagramas cargas tubo extendido	102
Fig.74 Tablas de características Norelem y ejes considerados	103
Fig.75 Esquema esfuerzos sobre viga	103
Fig.76 Diagramas viga YZ	104
Fig.77 Diagramas viga XZ	105
Fig.78 Sección estudiada de la base	106
Fig.79 Diagramas tubos guía	106



## RESUMEN

Con este proyecto se quiere diseñar un sistema de posicionado de la columna vertebral para pacientes con escoliosis. Se diseñará el sistema con una serie de actuadores instrumentados para medir fuerza y desplazamiento y se harán una serie de prototipos de elementos de este sistema.

Además, el sistema debe de permitir la digitalización del tronco del paciente en posición corregida, con el objetivo de optimizar el proceso de diseño y fabricación de corsés para la corrección de la escoliosis.

## PALABRAS CLAVE

Banco de ensayo  
Impresión 3D  
Escaneado 3D  
Escoliosis  
Corsé

## ABSTRACT

This project intends to develop a positioning system for the spinal column of scoliosis patients. A system consisting of a series of actuators will be designed with the purpose of measuring a series of forces and lengths, a few elements of this system will be subsequently prototyped.

In addition, this system must allow for the digitalization of the torso of the patient in the corrected position, with the objective of optimizing the design and fabrication process of corsets intended for the improvement of the grade of scoliosis in each specific patient.

## KEY WORDS

Bench test  
3D printing  
3D scan  
Scoliosis  
Corset





# 1.INTRODUCCIÓN

## 1.1 Contexto y objetivos del proyecto

La escoliosis es una deformación de la columna que afecta a alrededor del 3% de la población. El tipo más común es la escoliosis idiopática, la cual se desarrolla durante la edad de crecimiento de una persona y puede tener importantes efectos cosméticos y funcionales. Si no se trata adecuadamente, puede comprometer la calidad de vida del paciente.

El tratamiento más común en curvas causadas por la escoliosis es el uso de un corsé de corrección que impida la progresión de la curva y ayude a mejorar la posición del paciente.

El método tradicional de fabricación de estos corsés consiste en obtener un molde de escayola u otros materiales para obtener un modelo del torso del paciente. Sobre este modelo un profesional puede realizar diferentes operaciones para ajustar la forma del corsé al paciente.

Recientemente se ha empezado a realizar un escaneado 3D del paciente para poder hacer un modelo a escala real en espuma sobre el que diseñar el corsé. Ambos procesos son muy costosos y tienen que someterse a correcciones periódicas para asegurar la comodidad del paciente.



Fig.1 Fabricación molde de escayola



La tecnología de impresión 3D permite reducir exponencialmente el tiempo de fabricación y el coste de estos productos, pudiendo hacerlos asequibles para un sector mucho más amplio de la población.

El objetivo de este proyecto es diseñar un sistema de posicionamiento de la columna que en un futuro pueda ser utilizado para optimizar el proceso de diseño y fabricación del corsé, facilitando la toma precisa de medidas de la fuerza de compresión que debe hacer el corsé y así conseguir una corrección adecuada. Se busca, además, una reducción considerable en los tiempos de diseño y fabricación del producto, que el paciente pueda tener una mayor comodidad cuando lleve puesto el corsé y reducir el número de correcciones a las que estará sometido. Para conseguir esto se han determinado los siguientes puntos a diseñar y poder realizar un prototipo de algunos de los sistemas:

- El sistema debe poder posicionar correctamente al paciente para poder tomar las medidas de fuerza y distancia necesarias para fabricar el corsé.
- Una vez la persona esté posicionada, debe haber suficiente espacio alrededor suyo como para hacer un escaneado 3D.
- El operario debe adquirir los datos fácilmente.
- Se debe facilitar que el usuario mantenga la postura de toma de medidas.
- Tiene que ser robusto para garantizar una larga vida útil.
- Debe poder ofrecer la posibilidad de incorporar fácilmente mejoras sin afectar a los anteriores puntos.

## 1.2 Métodos de medida de la escoliosis

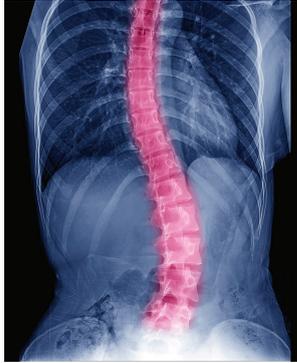


Fig.2 Ejemplo de escoliosis

La escoliosis consiste en la desviación hacia la izquierda o la derecha de la columna vertebral. Dependiendo del origen puede clasificarse en 3 grupos: congénita, cuando es causada por anomalías presentes al nacer; idiopática, si su causa es desconocida; o neuromuscular, si aparece a causa de otra enfermedad.

La escoliosis consiste en la desviación hacia la izquierda o la derecha de la columna vertebral. Dependiendo del origen puede clasificarse en 3 grupos: congénita, cuando es causada por anomalías presentes al nacer; idiopática, si su causa es desconocida; o neuromuscular, si aparece a causa de otra enfermedad.

En este proyecto se toman como referencia estudios para la escoliosis idiopática, la cual afecta al 80% de los pacientes de escoliosis. La escoliosis idiopática suele aparecer durante el periodo de crecimiento de un individuo, en la mayoría de los casos, a partir de los 10 años.

Una de las maneras más sencillas de evaluar el nivel de escoliosis es el método de Adams en el que el paciente se inclina hacia delante y con una plantilla se mide la rotación presente en la espalda.



Fig.3 Método Adams

Sin embargo, el método de medida de la escoliosis más utilizado es mediante el ángulo de Cobb, que se puede definir como el ángulo formado entre dos vértebras que delimitan una curva frontal. Se consideran como límites las dos vértebras más inclinadas hacia la concavidad.

Este ángulo define la gravedad de la escoliosis que sufre el paciente según la siguiente tabla

Tipo de escoliosis	Ángulo de Cobb	Tratamiento Orientativo
Leve	10° - 25°	Ejercicios de Fisioterapia
Moderado	25° - 45°	Fisioterapia + <u>Tratamiento Ortopédico (Corsé)</u>
Grave	>45°	Posibilidad de tratamiento quirúrgico

Fig.4 Tabla ángulo de Cobb

Este último método es el que se toma como referencia a la hora de fabricar un corsé, buscando aplicar fuerza en la cúspide de las curvas en la columna del paciente para así rectificar y evitar una progresión de esta curvatura.

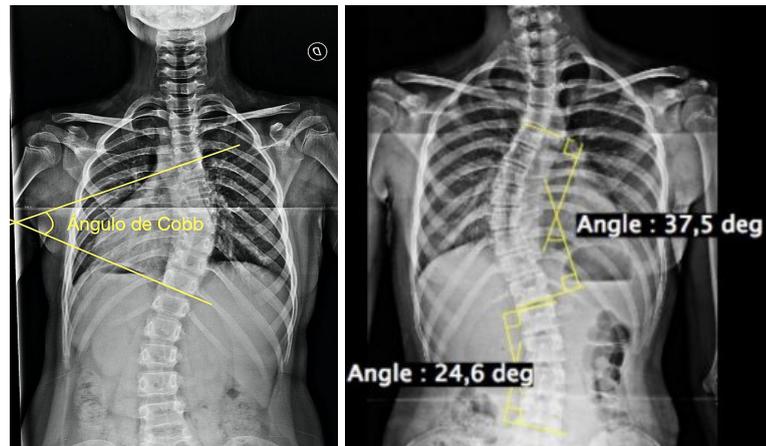


Fig.5 Ejemplos de toma del ángulo de Cobb

Aunque tradicionalmente el ángulo de Cobb se ha medido con radiografías, estudios recientes han tenido un gran éxito utilizando tecnología de escaneado con ultrasonidos. Debido a este avance se reduce el coste y se evita someter al individuo a radiación, sin afectar a los resultados finales.

### 1.3 Tipos de Corsés

Como se ha mencionado anteriormente, el corsé es el tratamiento más común para curvas de escoliosis entre 25 y 45°, sin embargo, dependiendo de las necesidades del paciente y la severidad de la curva, se podrá optar por diferentes tipos. A continuación, se exponen algunos de los más comunes:

**-Corsé de Boston:** Es uno de los corsés más utilizados. Consiste en un dispositivo de plástico rígido simétrico que envuelve el torso, desde debajo de las axilas hasta la pelvis. La mayor ventaja de este corsé es que puede ser utilizado en la gran mayoría de casos y puede llevarse tanto por el día como por la noche. Sin embargo, es muy incómodo ya que limita mucho el movimiento del paciente y, al no transpirar, retiene mucho el calor. Está fabricado con propileno tapizado interiormente con espuma en los puntos de contacto.



Fig.6 Corsé de Boston

**-Corsé de Milwaukee:** Este corsé se utiliza principalmente para curvas torácicas o toracolumbares. Está compuesto por una estructura metálica que se extiende desde el cuello hasta la pelvis, donde se une a una cesta pélvica hecha de un material plástico. Es más complejo y menos estético que los otros tipos de corsés y limita mucho el movimiento por lo que prácticamente se ha dejado de utilizar.



Fig.7 Corsé de Milwaukee

**-Corsé de Charleston:** Este tipo de corsé se utiliza en casos de curvas lumbares. Es el primer corsé que se diseñó para ser utilizado únicamente por la noche. Está diseñado para hipercorregir la curvatura al aplicar una fuerza de flexión lateral en la dirección opuesta a la curva. Su método de fabricación es similar al utilizado en el Boston. Ha sido sustituido por el modelo Providence, que tiene una forma similar y un sistema de medida de la curvatura más sofisticado. La utilización de ambos se limita a curvas C en la parte inferior de la espalda.



Fig.8 Corsé de Charleston

**-Corsé de Cheneau:** El corsé de Cheneau es un corsé que tiene aperturas en la carcasa para facilitar la respiración y el movimiento del niño. Está pensado para ser utilizado en la escoliosis infantil, para moldear la espalda durante el crecimiento y evitar así curvas mayores en un futuro.



Fig.9 Corsé de Cheneau

**-Corsés impresos en 3D:** En los últimos años se han desarrollado diferentes modelos de corsé confeccionados con tecnologías de fabricación aditiva. Estos son mucho más personalizables que el resto de modelos, por lo que no limitan tanto la movilidad, son más ligeros y tienen una apariencia mucho más estética. Estas cualidades los hacen mucho más cómodos de llevar. Además, son más baratos de fabricar. Aunque es una tecnología que aún está desarrollándose, hay estudios que muestran datos muy prometedores.



Fig.10 Corsé impreso en 3D

## 1.4 Tecnología de Impresión 3D

La fabricación aditiva es una tecnología que en los últimos años ha revolucionado la industria y la forma de producir ciertas piezas de manera industrial. Esta forma de fabricación se refiere a la creación de piezas y componentes a partir de la superposición de capas de material de manera consecutiva. De esta forma se crea un objeto tridimensional, con materiales como filamentos de plástico o metales (que son los materiales más usados en este tipo de fabricación).

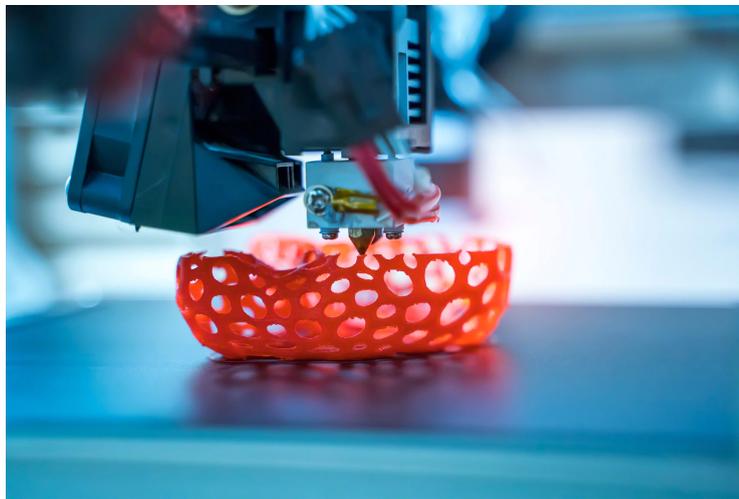


Fig.11 Impresión en 3D

Cuando la comparamos con otros métodos de fabricación tradicionales, la fabricación aditiva permite la producción de copias exactas de elementos más complejos y únicos, de manera rápida y eficiente, a partir de un modelo 3D virtual. También es importante mencionar la reducción de costes que implica este método de fabricación en comparación con otros métodos más tradicionales al permitir una producción a baja demanda.

Las tecnologías de fabricación aditiva se han posicionado como un proceso de fabricación muy importante dentro de sectores industriales muy diversos. Aunque en sus inicios su utilización en la industria estuvo limitada al prototipado, debido al alto coste de producción de grandes



series de un producto, la evolución de la tecnología ha hecho que sea cada vez más factible su uso en la producción de piezas listas para lanzar al mercado.

El sector automovilístico es uno de los que ha encontrado más uso para estos sistemas de producción. Pese a que esta tecnología se comenzó a introducir en la industria en los años ochenta, no fue hasta la primera década del siglo XXI cuando las empresas empezaron a utilizarla para fabricar piezas listas para el uso. Uno de los primeros usos en la industria del automóvil fue en la fabricación de componentes para vehículos de competición, necesitados de una geometría compleja y peso reducido. Aunque la creación de prototipos sigue siendo el uso más extendido, también se ha aplicado a la fabricación de moldes y herramientas para optimizar la producción de un amplio número de piezas.

La tecnología de impresión 3D también fue rápidamente adoptada por el sector aeronáutico y, al igual que en la automoción, comenzó a ser utilizada en la fabricación de prototipos. Rápidamente se ha aplicado para la producción de piezas de una geometría compleja que serían extremadamente caras o muy difíciles de fabricar con otros procesos .

Estas piezas han ayudado a mejorar las prestaciones de los sistemas donde se han integrado, obteniendo una resistencia mecánica comparable a la de componentes producidos por métodos convencionales, pero con un peso más reducido y a un coste menor. Además, permite la fabricación in situ, lo cual reduce el coste y el tiempo necesitado para el transporte y optimiza el proceso de construcción del producto final. Estos avances en la tecnología 3D han supuesto una mejora en el rendimiento de aeronaves modernas, en la seguridad de estos métodos de transporte y en la disminución del consumo de combustible.

Otra de las industrias que más recientemente ha encontrado beneficios en el uso de la fabricación aditiva es la biomédica. A día de hoy dentro de este sector se usa mayoritariamente en la producción de prótesis e implantes. Estas prótesis son mucho más rápidas de fabricar que las producidas por métodos convencionales, y es más sencillo adaptar

el diseño al usuario. Esta forma de producción permite abaratar los costes y que el producto sea mucho más accesible. Actualmente, se está estudiando la posibilidad de que la tecnología sea capaz de producir órganos completos que pudieran utilizarse en trasplantes. En este sector es común el uso del escaneo 3D para conseguir modelos de partes del cuerpo a partir de los cuales desarrollar una prótesis determinada.

En este proyecto se ha utilizado esta tecnología para hacer ciertas partes del prototipo de la máquina. En particular se han hecho mediante el proceso llamado FDM (Fused Deposition Modeling).

El FDM es un proceso de fabricación aditiva en el que un filamento termoplástico se derrite y se deposita capa por capa para construir un objeto tridimensional. Este comienza con un modelo digital 3D, que se divide en capas y se carga en una impresora 3D. El filamento se alimenta a través de un cabezal de impresión que se mueve en dos ejes, X e Y, mientras que la cama de impresión se mueve en el eje Z. El filamento se derrite a medida que se extruye a través de una boquilla caliente y se deposita capa por capa para construir el objeto. El filamento utilizado en el proceso FDM puede ser de diferentes materiales, como plásticos, metales, cerámica entre otros.

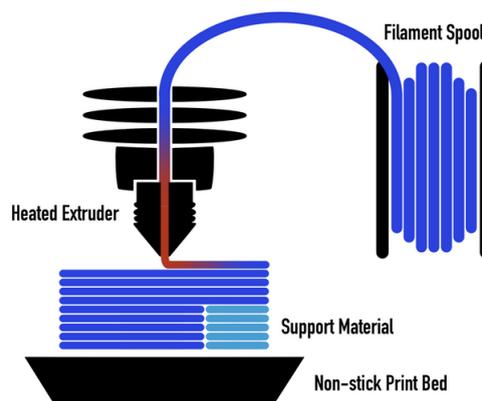


Fig.12 Proceso FMD



Las partes fabricadas con FDM pueden tener un acabado superficial rugoso, aunque pueden ser sometidas a procesos de post-procesamiento, como lijado o pulido, para mejorar su acabado.

El proceso FDM es utilizado en diversas aplicaciones, como la producción de prototipos, piezas de ingeniería, piezas de decoración y modelos de arquitectura entre otros. Es un método eficiente, económico rápido y preciso para fabricar piezas.

## 1.5 Escaneado 3D

La tecnología de escaneado 3D engloba a todos los sistemas capaces de capturar la forma de un objeto y transformarlo en una malla digital o una nube de puntos en un espacio tridimensional digital.

Hay diferentes tipos de tecnologías, como la fotogrametría o la triangulación láser, que permiten realizar este proceso. No obstante, el utilizado principalmente en el ámbito de la ortopedia es el escaneado por luz estructurada.

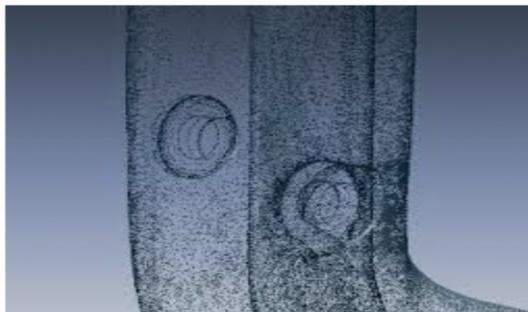


Fig.13 Nube de puntos

Los escáneres de luz estructurada funcionan detectando la deformación causada en un patrón de luz al proyectarse sobre un objeto. Están formados por un proyector de luz y una o varias cámaras que toman la información de la deformación del patrón de luz. Una vez se ha conseguido esta información un algoritmo la compara con la proyección del patrón sobre una superficie plana para generar una malla. Los datos recibidos por el escáner pueden posteriormente editarse con el software adecuado, para rellenar huecos en la malla o para eliminar partes no deseadas en el modelo final.

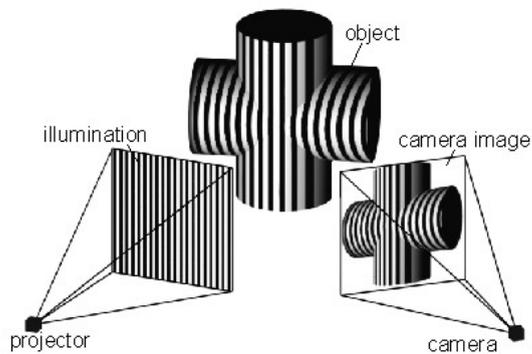


Fig.14 Escaneado por luz estructurada

La calidad de este escaneado dependerá mucho de factores lumínicos de la habitación en la que se utilice y de la calidad del proyector. Sin embargo, es un sistema que puede montarse de manera muy compacta, lo que lo hace ideal para escáneres portátiles.

El modelo de escáner que se utilizaría para realizar los corsés sería uno de este tipo. Específicamente el modelo Einscan Pro de shining 3D, que necesita ser utilizado aproximadamente a treinta centímetros respecto del paciente para poder hacer el escaneado rápidamente pero con la calidad necesaria. Esta distancia junto con las dimensiones del propio escáner, será determinante para diseñar la estructura principal de la máquina.



Fig.15 Escaner Einscan Pro



## 2.DISEÑO DEL SISTEMA



## 2.1 Normativa

Al ser un sistema utilizado en el tratamiento y seguimiento de una dolencia en los seres humanos, según el Real Decreto 1591/2009 de 16 de Octubre, el producto desarrollado en este proyecto sería clasificado como Producto Sanitario (PS).

Según el Reglamento (UE) 2017/745 del Parlamento Europeo y del Consejo del 5 de abril de 2017 sobre productos sanitarios podemos determinar que la máquina será un Producto Sanitario de clase 2A y, si llegara a comercializarse, debería someterse a un marcado CE que garantizara la calidad y la seguridad del sistema.



## 2.2 Estado del arte

Para definir aspectos a tener en cuenta en el producto desarrollado y diferenciarlo de posible competencia se ha hecho un estudio de mercado en torno a los diferentes métodos de fabricación y evaluación de corsés para escoliosis.

Este campo lleva utilizando la misma tecnología de moldeo desde hace más de 40 años y el uso de tecnología 3D todavía no está extendido completamente, por lo que la gran mayoría de la tecnología existente está únicamente adaptada al proceso de moldeo tradicional. Además, los pocos modelos encontrados no permiten la lectura de las medidas de fuerza necesarias para la verificación del funcionamiento de estos corsés en un entorno virtual.

El siguiente estudio muestra diferentes métodos de posicionamiento de espalda y sistemas utilizados en la colocación de la columna durante la fabricación de corsés de escoliosis.

### Método de Posicionamiento de Columna Providence

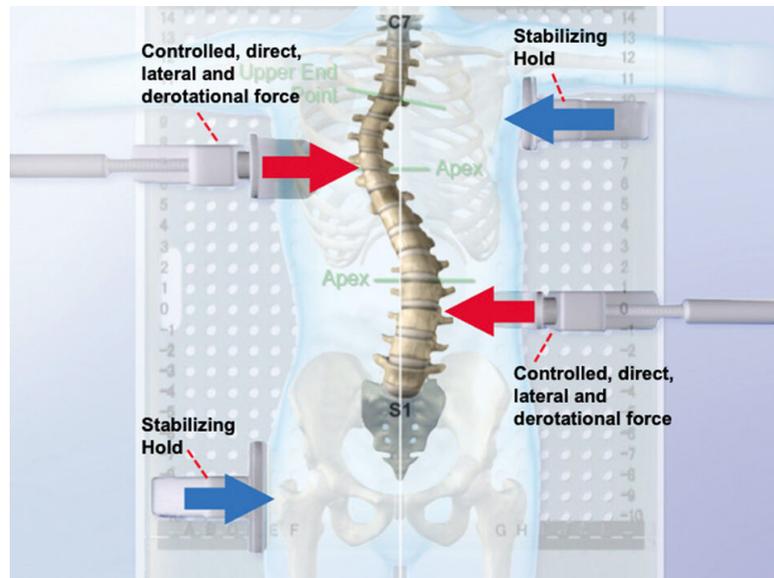


Fig.16 Sistema de posicionamiento Providence

El método Providence consiste en colocar al paciente en una tabla con una serie de agujeros regulados sobre los que se posicionan una serie de soportes que aplican fuerzas para rectificar la columna. Este sistema permite realizar a posteriori una radiografía o un escáner de ultrasonidos para comprobar la mejora de la postura y hacer los ajustes necesarios. Finalmente el corsé se confecciona a partir de la posición de los brazos en la tabla y la distancia que se han tenido que extender para posicionar al paciente.

Al tener que colocar al paciente sobre una tabla, este método no es apto para hacer un escaneado 3D del paciente con el que desarrollar el corsé por impresión 3D. Además, no mide las fuerzas exactas ejercidas sobre la columna, por lo que los corsés fabricados a partir de este método necesitan correcciones para adaptarse al individuo y es más complicado verificar su correcto funcionamiento.

**-Publicación: WO 2018130738-DISPOSICIÓN PARA MÁQUINA PARA EL TRATAMIENTO DE LA ESCOLIOSIS Y DE LAS DESALINEACIONES DEL RAQUIS**

Fecha de publicación: 05/06/2013

Estado:Activa

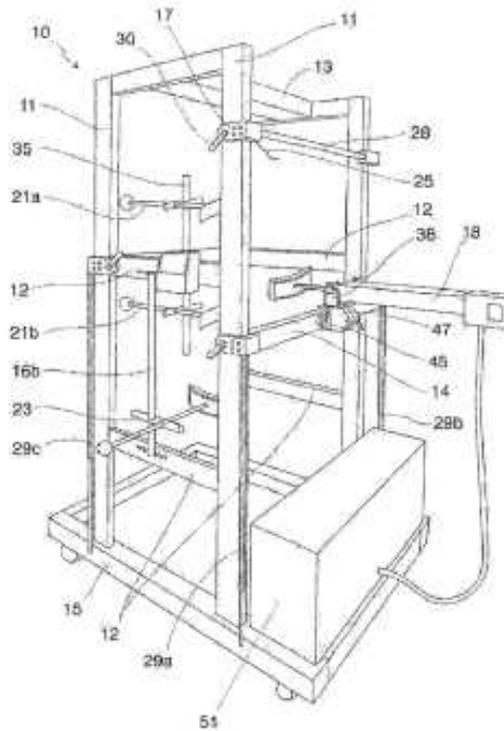


Fig.17 Esquema de patente WO 2018130738

Esta patente expone un sistema de posicionamiento de columna en el que el paciente es suspendido en el aire por un amarre colocado en las axilas. A continuación, se inmoviliza a la persona en posición de manera que el brazo neumático quede en el lado adecuado para suministrar la fuerza que permita corregir la curvatura en la columna.

Este sistema tiene varios inconvenientes a la hora de utilizarlo en la confección de corsés mediante impresión 3D, puesto que la estructura es muy aparatosa y necesita muchos puntos de fijación para poder tomar una medida correcta. Esto impide hacer un escaneado del paciente de forma adecuada y, además, solo toma la medida que permite calcular la fuerza en

uno de los brazos del sistema, lo cual es insuficiente para la fabricación con el nuevo proceso.

Por otra parte, presenta el inconveniente de ser un sistema más intrusivo con el paciente, teniendo que mantenerlo en una posición incómoda durante un largo periodo de tiempo para poder conseguir los datos adecuados.

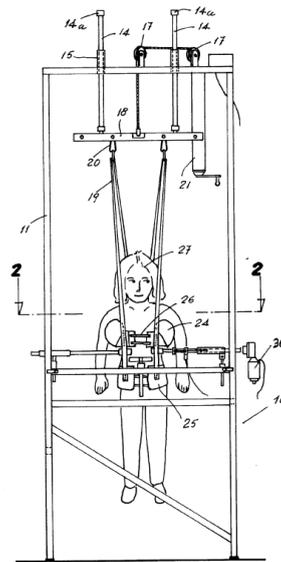


Fig.18 Posicionamiento del paciente

**-Publicación: EP 3653179 (A1) - DEVICE FOR THE MANUFACTURE OF A SCOLIOSIS TREATMENT CORSET**

Fecha de publicación: 20/05/2020

Estado: Activa

La patente describe un instrumento para asistir en la fabricación de corsés de escoliosis. El paciente se tumba boca arriba sobre los apoyos horizontales del producto, para posteriormente aplicar fuerzas sobre la columna con los brazos laterales y con el actuador colocado debajo de la cabeza que se ocupa de estirar la columna.

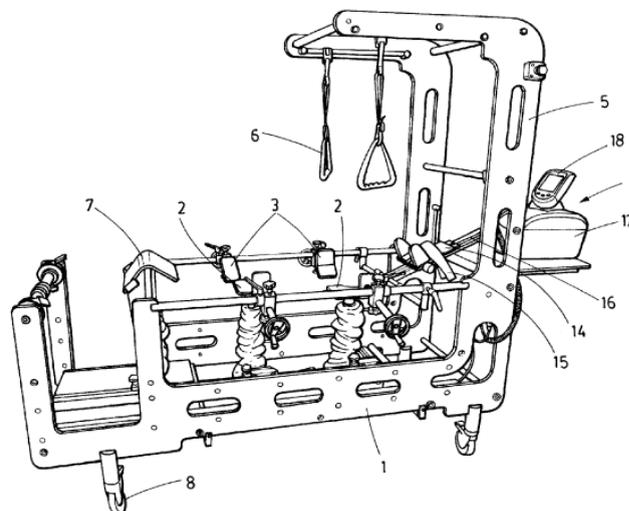


Fig.19 Esquema de patente EP 3653179 (A1)

Este sistema está pensado para sacar un molde en posición corregida del paciente para después escanearlo y sacar un modelo digital sobre el que diseñar el corsé en impresión 3D.

Aunque sin duda presenta muchas mejoras respecto a los otros sistemas mencionados como la mejora sustancial en la comodidad del paciente durante el proceso, tiene el inconveniente de seguir necesitando la construcción de un molde durante el proceso de fabricación del corsé lo que sigue haciendo que el proceso sea lento.



## 2.3 Estudio Ergonómico

Ya que el mecanismo tiene que adaptarse al cuerpo de diferentes personas, se ha realizado un estudio ergonómico para definir sus proporciones y hacer que se adapte al mayor número de individuos entre los 10 y los 19 años. Para ello se han sacado datos de un estudio antropométrico realizado por Mapfre en el año 1999. Al ser un estudio antiguo y estar centrado en adultos se ha optado por hacer una comparación de la información disponible respecto a los valores estándar de crecimiento de la OMS actualizados en 2019.

Debido a las funciones que debe cumplir el producto se han determinado unas medidas clave. Tanto el ancho como el alto del área en la que se colocará al paciente, tendrán que tener una medida adaptada a máximos para permitir que el instrumento pueda adaptarse a la gran mayoría de personas.

La altura de caderas también será una medida esencial. Ya que es una de las referencias para los puntos de medida, se optará por una medida para mínimos. Por el contrario, el otro punto de apoyo localizado en la axila tendrá que adaptarse a un valor de máximos.

Se busca una confianza del 95% en los resultados, por lo que, para hacer un contraste unilateral con una hipótesis de distribución normal, los valores de referencia máximos se basan en el P97,5 y los valores de mínimos en el P2,5.

La fórmula utilizada para hallar estos valores es la siguiente:

$$P = \mu \pm Z\sigma$$

**P**= Percentil a calcular

**$\mu$** = Valor promedio de la muestra

**Z**= Valor crítico

**$\sigma$** = Desviación Típica.



En este caso Z será igual a 1,96 y basándonos en las tablas de datos antropométricos obtendremos las siguientes medidas.

### **Altura del marco**

Basándose en los valores de la altura de los individuos se obtiene:

$$P97,5 = 1760 + 1,96 * 70,49 = 1898 \text{ mm}$$

Para tener cierto margen, teniendo en cuenta que la persona tiene que estar cómoda, se ha optado por una medida de **2000 mm**.

### **Anchura mínima**

Esta medida se ha obtenido en base a los datos referentes a la anchura entre codos en hombres, ya que presentan valores mayores.

$$P97,5 = 477 + 1,96 * 46,4 = 567,9 \text{ mm}$$

Ya que el paciente debe estar cómodo se optado por tener un área de diámetro 600 mm en la que el paciente no debe tener ningún objeto aparte de los aparatos de medida.

### **Altura de caderas y altura de la axila**

Se han cogido como referencia los datos correspondientes a la altura de la espina ilíaca en mujeres y se han comparado con los datos disponibles de la OMS para sacar una medida aproximada en la población de niñas de 10 años, que son quienes presentan valores de menor magnitud.

$$P2,5 = 796 - 1,96 * 48,5 = 700,9 \text{ mm}$$



Al no tener datos sobre la altura de la axila se ha optado por sacar una medida de referencia a partir de la altura de los hombros en jóvenes de 19 años.

$$P_{97,5} = 1439 + 1,96 * 63,6 = 1538,6 \text{ mm}$$

Asumiendo que el punto de apoyo estará aproximadamente a **120 mm** de distancia respecto al hombro, obtenemos una altura de axila a **1418,6**.

Teniendo en cuenta estos datos se obtiene que el rango de movimiento vertical de los brazos tiene que ser cercano a:

$$1418,6 - 700,9 = 717,7 \text{ mm}$$

#### **Longitud de carrera de los brazos medidores**

Para determinar el rango de movimiento de los brazos medidores en dirección perpendicular a la columna del paciente, primero se halla el ancho mínimo de pecho que podemos encontrarnos.

$$P_{2,5} = 245 - 1,96 * 28,01 = 190.1 \text{ mm}$$

Restando este valor a la anchura del marco obtenemos un valor de 1310 mm por lo que cada brazo debe cubrir una distancia de aproximadamente **650 mm**.



## 2.4 Descripción general del sistema

En este apartado se explicará el proceso de diseño del sistema objeto del proyecto.

Tomando como base la información adquirida durante la fase de investigación, se determinaron unos objetivos que debía cumplir el proyecto.

- El producto necesita dar las medidas requeridas para la fabricación del corsé de forma fiable.
- Una vez la persona esté posicionada, debe haber suficiente espacio alrededor suyo como para hacer un escaneado 3D.
- Debe poder ensamblarse fácilmente.
- El operario debe adquirir los datos fácilmente.
- Se debe facilitar que el usuario mantenga la postura de toma de medidas.
- Cuando el producto no esté utilizándose, tiene que poder desmontarse u ofrecer un uso alternativo dentro del espacio en el que se encuentre.
- Tiene que ser robusto para garantizar una larga vida útil.
- Debe poder ofrecer la posibilidad de incorporar fácilmente mejoras sin afectar a los anteriores puntos.

Con estos objetivos planteados se desarrollaron los primeros bocetos del proyecto. Ya que el corsé iba a estar pensado para llevarlo puesto durante el día, se optó por mantener a la persona de pie, puesto que el corsé será utilizado principalmente en esta posición, además de para asegurar la robustez.

Teniendo en cuenta los resultados en otros estudios, se tomó como referencia una fuerza de compresión de 300N como valor de la fuerza máxima aproximada que se puede aplicar al paciente.

La estructura de la máquina decidió desarrollarse con perfilería Fasten, ya que permite un gran número de uniones de manera sencilla y rápida.

Para facilitar el montaje, la fabricación y el uso del sistema, se optó por desarrollar una serie de módulos con brazos medidores, los cuales puedan conectarse a una estructura principal. Las primeras ideas que se barajaron hacían uso de un sistema de correderas para mover los carros por la estructura y aplicar las fuerzas en el paciente. Sin embargo, esta opción se descartó rápidamente debido, sobre todo, a la falta de fiabilidad que ofrece este sistema a la hora de fijar los carros en su posición de trabajo.

En los siguientes diseños se prefirió utilizar sistemas de movimiento por husillos para tener la máxima fiabilidad en la toma de medidas, puesto que permiten controlar el movimiento de manera más precisa y presenta menos riesgos para el operario.

El primer modelo realizado presentaba un gran brazo, que abarcaba el largo del husillo, atornillado a la rosca del husillo. Este brazo presentaba un cabezal en forma de pala con un grado de libertad para permitir la rotación y adaptarse mejor al cuerpo del paciente. Su base contiene un sistema de guiado para aplicar la fuerza perpendicularmente al sensor de fuerza y obtener la mejor medida posible.



Fig.20 Brazo medidor inicial

Este diseño fue descartado en favor del modelo final, pues al aplicar fuerza sobre el cabezal se creaba un par de torsión no deseado en el tornillo del husillo que podría afectar a la vida útil de éste. Además, al tener algunas piezas de gran tamaño se complicaba su fabricación y montaje.

El modelo final cuenta con un sistema de guiado del carro en el eje del propio husillo, de manera que la fuerza transmitida al husillo es completamente axial y el par de fuerza que se transmite es mucho menor que en la anterior solución. Asimismo, el montaje y la fabricación de los brazos se han simplificado significativamente.

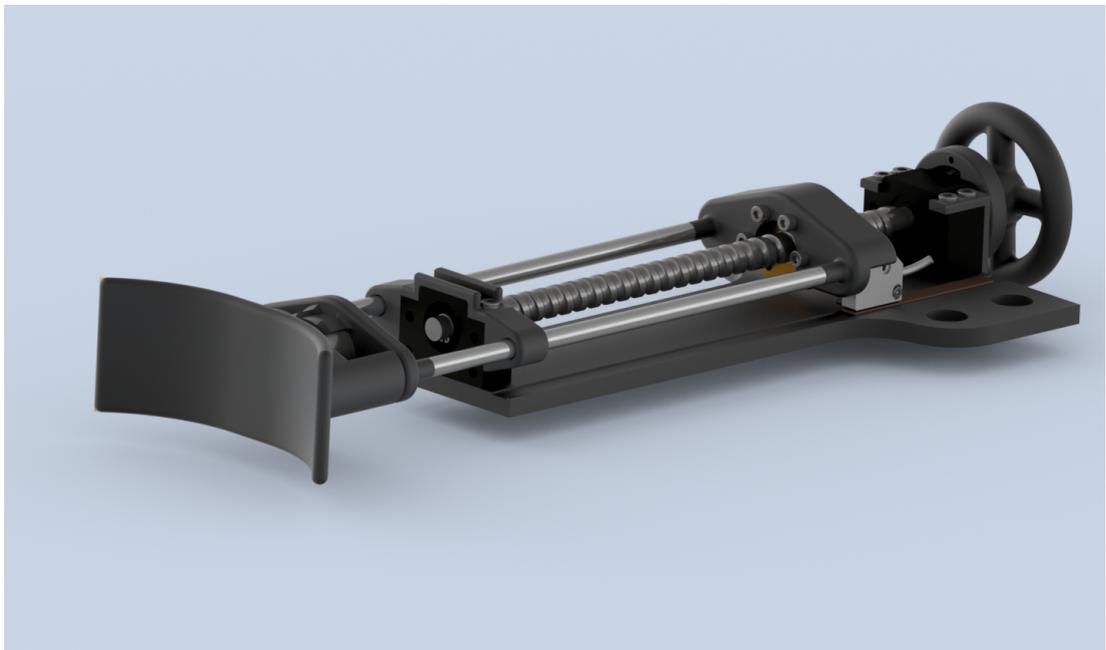


Fig.21 Modelo final

La estructura principal también sufrió cambios durante el proceso de diseño. El primer diseño que se barajó fue el de una estructura liviana con los brazos de los husillos montados lateralmente, buscando conseguir una solución lo más compacta posible.

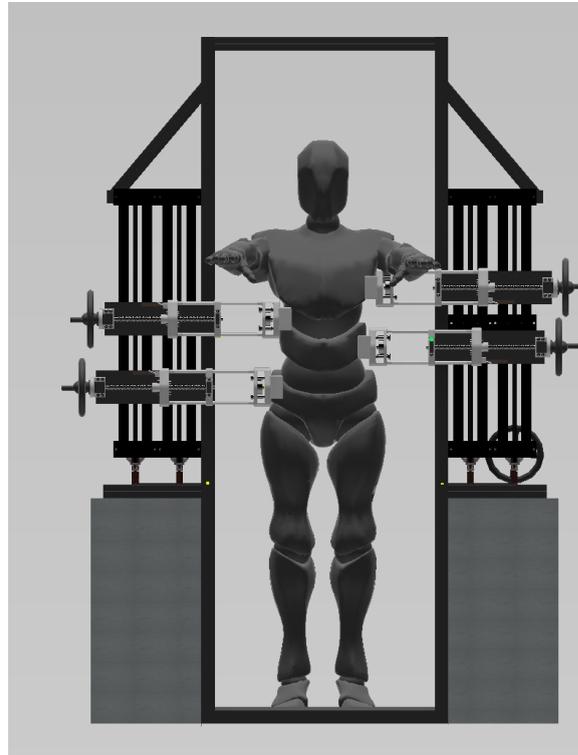


Fig.22 Primera idea del sistema

Sin embargo, esta estructura no permitía la introducción de mejoras o nuevos ejes de medición que podrían ser necesarios en un futuro sin afectar significativamente a la habilidad del operario de escanear a la persona. La estructura final está pensada para que pueda ser fácilmente mejorada sin afectar a la capacidad para escanear al paciente manteniendo un montaje relativamente sencillo. A continuación, se desarrolla más en detalle este modelo.



Fig.23 Diseño final del sistema

## 2.5 Componentes

La función más importante del sistema es la toma de medidas por lo que es necesario adquirir los componentes idóneos para obtener una lectura con una tolerancia adecuada, garantizando cierta repetitividad en los resultados sin elevar el costo de la máquina innecesariamente.

### -Husillos

Para aplicar fuerza sobre la persona se necesita un sistema fiable, que facilite al operario tomar las medidas necesarias y que sea seguro de utilizar.

Un husillo es un elemento mecánico formado por un tornillo sin fin sobre el que se desplaza una tuerca, de manera que se transforma el movimiento rotacional en movimiento lineal.

Hay diferentes tipos de husillos dependiendo del tipo de roscado que se utilice en el sistema.

- **De bolas:** están compuestos por un eje principal con un camino de rodadura helicoidal por el que se guían unas bolas de rodamiento. Es el modelo que necesita menos par, ya que se reduce enormemente la fricción para ponerse en movimiento. Al no presentar casi fricción se calienta menos, lo que lo hace más indicado para movimiento a altas velocidades. Su rendimiento ronda el 90%. Es el más utilizado en tareas que requieran precisión.



Fig.24 Husillo de bolas

- **Trapezoidales:** son más simples que los de bolas. Tienen un roscado trapezoidal, lo que los hace más sencillos que los de bolas. Necesitan más fuerza para moverse debido a su funcionamiento por fricción en lugar de por rodamientos, por lo que también serán menos precisos. Dependiendo del ángulo de ataque de la rosca estos tendrán una acción autoblocante.



Fig.25 Husillo Trapezoidal

La tuerca es el elemento, en ambos tipos, sobre el que se acoplan los diferentes componentes del sistema que necesiten moverse linealmente. Hay muchos tipos diferentes de roscas para husillos dependiendo de diversos factores, como la temperatura o la presión de trabajo, la carga a soportar, el tipo de lubricación, la velocidad de movimiento o la forma que se necesite para acoplar a otros componentes.

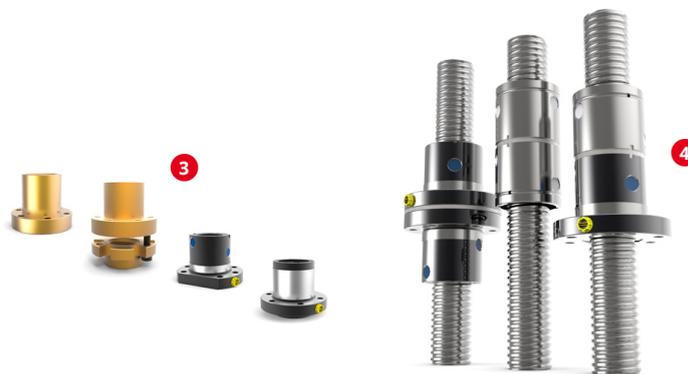


Fig.26 Tipos de tuercas de Husillo

Para este proyecto los husillos trapezoidales son lo suficientemente precisos como para conseguir las medidas requeridas. Además, son mucho más asequibles que los de bolas, lo que permite abaratar el coste de la máquina. Se ha optado por una rosca de latón con brida, al ser más conveniente para acoplar el resto de componentes que forman el sistema.



Fig.27 Modelo de tuerca utilizado

El husillo escogido para los brazos medidores es de diámetro 16mm y paso 4mm. El diámetro está sobredimensionado para la carga axial que va a soportar. Esto permite que el husillo tenga una mayor vida y evite roturas ocasionadas por un mal uso o por accidentes que causen cargas radiales grandes en el eje del husillo. Para unirlo al resto de componentes se han adquirido también un soporte fijo y uno móvil.



Fig.28 Soportes del husillo

Las guías verticales también son husillos trapezoidales. En este caso el carro que mueve está guiado en sus laterales, lo que aporta mayor rigidez al ensamblaje y permite al husillo funcionar incluso bajo la acción de grandes pares de fuerza.

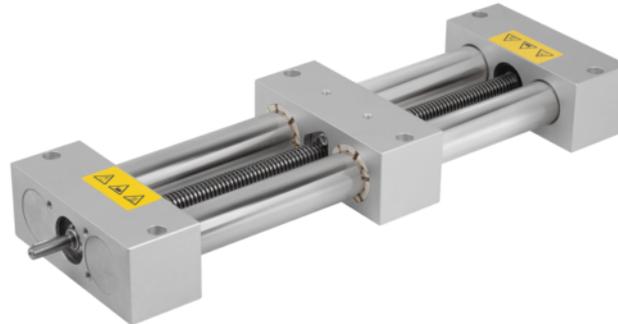


Fig.29 Guía lineal

Los cálculos de la vida y análisis de fuerzas pueden encontrarse en el apartado correspondiente en los anexos.

### -Células de Carga

Existen numerosos métodos para medir las fuerzas que actúan sobre un sistema, pero debido a la limitación de espacio y a la precisión requerida se ha optado por usar sensores de carga electrónicos en lugar de sistemas mecánicos.

Los sensores de fuerza eléctricos se pueden dividir principalmente entre sensores piezoeléctricos y extensiométricos.

Los Piezoeléctricos funcionan midiendo las pequeñas corrientes producidas en un material piezoeléctrico. Son ideales para tomar medidas de eventos con una alta frecuencia o con una velocidad muy alta. Sin embargo, la carga no se mantiene estable en el tiempo por lo que no son los más indicados para tomar medidas estáticas durante un largo periodo de tiempo.

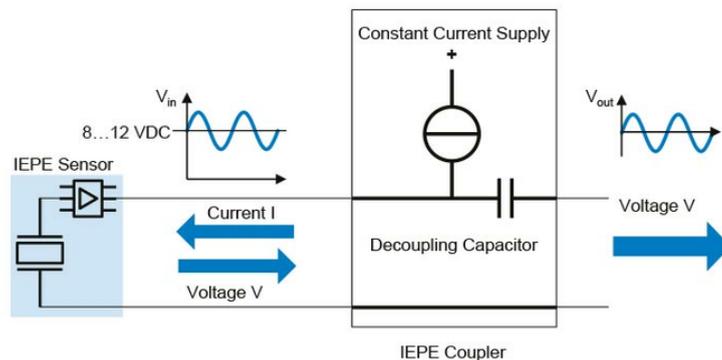


Fig.30 Esquema funcionamiento sensor piezoeléctrico



Fig.31 Material piezoeléctrico laminado

El sensor extensiométrico por otra parte, funciona con un sistema de puente de Wheatstone a base de galgas extensiométricas, que al deformarse varían su resistencia eléctrica, de manera que al leer la diferencia potencial del puente se puede saber qué fuerza se ha aplicado. Estos sensores son muy estables y permiten obtener medidas en pruebas estáticas más fiables que los piezoeléctricos, además son más económicos.

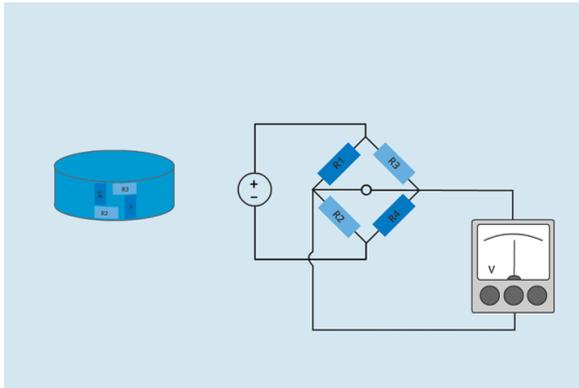


Fig. 32 Esquema funcionamiento sensor extensiométrico

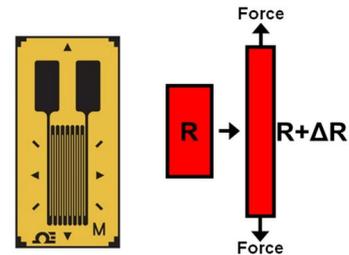


Fig.33 Galga extensiométrica

Dependiendo de la estructura del sensor y cómo se colocan las galgas extensiométricas o los piezoeléctricos, se podrán medir diferentes tipos de fuerzas. Los más básicos son los de tracción, compresión y los de flexión. El resto de tipos que se pueden encontrar en el mercado suelen ser combinaciones entre estos tres o incorporando sensores de medición de momentos.



Fig. 34 Diferentes formatos de células de carga

En el proyecto las fuerzas que se quieren medir son estrictamente axiales respecto al eje del husillo y de compresión. Ya que el tiempo de lectura puede ser prolongado y estático, se ha optado por un sensor extensiométrico de compresión de pequeño tamaño, en concreto el modelo CMamp de carga nominal 100 kg de la marca AEP. Este tipo de sensor es muy sensible a fuerzas cortantes o a fuerzas descentradas, por lo que se ha adquirido también un cabezal para proteger al sensor de estas cargas no deseadas.



Fig. 35 Producto escogido

## -Encoder

El encoder es un instrumento que detecta el movimiento y responde enviando una señal eléctrica. Esa señal es recibida por un dispositivo de control que permite al usuario medir el movimiento realizado por el encoder.

Existen diferentes tipos que varían en su método de funcionamiento. Los tipos que se consideraron para este proyecto fueron los magnéticos, los ópticos, los inductivos y los capacitivos .

- **Magnéticos.** Los encoders magnéticos funcionan detectando la tensión generada en la cabeza lectora al pasar sobre unas marcas magnetizadas. Esta clase de encoder permite grandes tolerancias de montaje afectando mínimamente al valor detectado por el lector y manteniendo una alta resolución. Además son muy económicos. Por el contrario, son sensibles a campos magnéticos externos, ya que pueden ocasionar pérdidas por histéresis que desmagneticen las marcas de lectura.

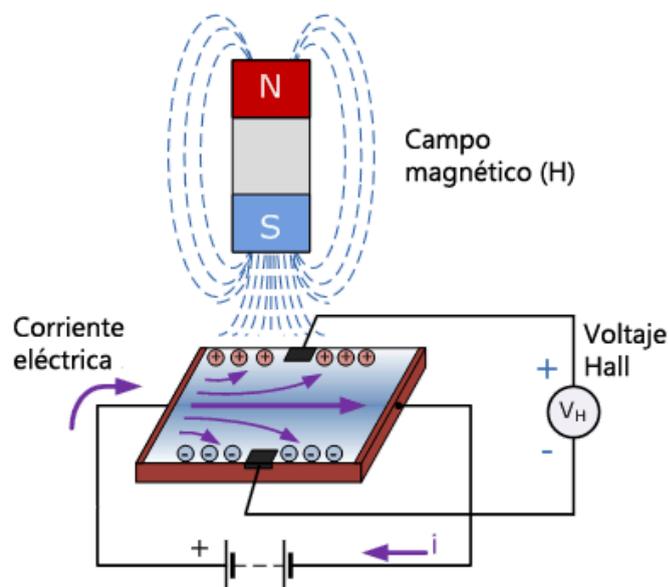


Fig.36 Funcionamiento encoder magnético

- **Ópticos.** Este tipo de encoder mide el movimiento detectando marcas de luz equidistantes. Estas marcas normalmente se consiguen cubriendo una luz con una rejilla reglada. A medida que el lector se mueve sobre esta rejilla detecta los huecos donde pasa la luz. La escala de estas marcas puede tener tamaños muy reducidos, lo que permite una gran precisión. Los principales inconvenientes de esta tecnología son su elevado precio y su sensibilidad a partículas que puedan bloquear el paso de la luz, lo que los hace más delicados que los otros dos tipos.

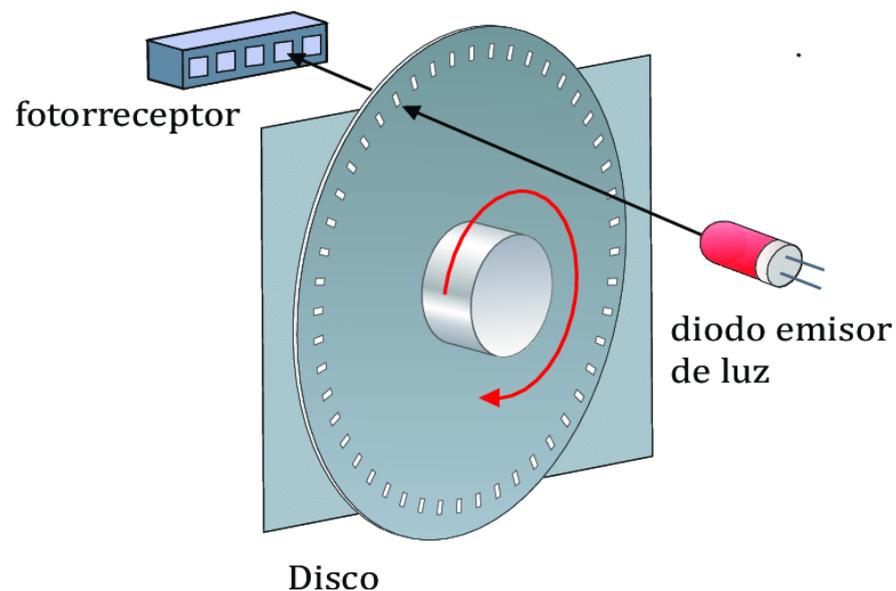


Fig.37 Funcionamiento encoder óptico

- **Inductivos.** Como su nombre indica, esta clase de encoder utiliza el principio de inducción para medir el giro de un eje. Su construcción recuerda a la de un motor eléctrico, con un estator fijo y un rotor unido al eje móvil. La interacción entre estos dos componentes causa variaciones en el campo magnético, que a su vez generan una tensión que detecta el sensor en el estator, lo que permite la toma de la medida del movimiento. Estos sensores son los más robustos y pueden funcionar en condiciones mucho más extremas que los otros dos, pero son menos precisos que los ópticos.



Fig.38 Funcionamiento encoder inductivos

- **Capacitivos.** Miden la variación de la capacitancia entre una cabeza lectora y la escala, esta tiene unas zonas conductoras que funcionan como las placas conductoras de un condensador. Al variar el área de superposición entre esta y la posicionada en la cabeza lectora varía el voltaje acumulado entre estas placas, lo que permite la medida de la distancia. Tienen una alta precisión, pero al igual que los ópticos son muy sensibles a la suciedad y pueden verse afectados por cargas electrostáticas generadas durante el movimiento del sistema.

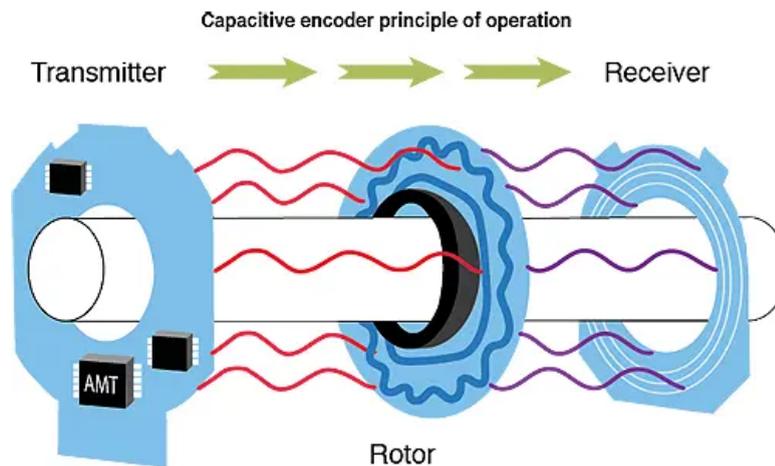


Fig.39 Funcionamiento encoder capacitivo

Los encoders también pueden dividirse entre encoders lineales o rotativos, dependiendo de la medida a leer para los que estén diseñados. Los lineales tomarán directamente la longitud recorrida por el cabezal móvil sobre una superficie de referencia, mientras que los rotativos miden el ángulo que gira un eje respecto de un cuerpo de referencia.



Fig.40 Ejemplos de encoders rotativos y lineales

Finalmente, los encoders pueden dividirse entre absolutos o incrementales. Los absolutos pueden detectar en qué punto se encuentran en todo momento respecto de una referencia. Mientras que los incrementales tomarán como punto de referencia cualquiera en el que se encuentren en el momento de su activación.

Tras ver las características de los diferentes productos en el mercado se optó por la utilización de un encoder lineal magnético, ya que en un principio no va a colocarse en ambientes que puedan afectar significativamente al flujo magnético en el encoder. Igualmente, permite simplificar mucho el montaje en los husillos, siendo un sistema de medida compacto, ligero y preciso. Se optó por un modelo incremental debido a que







## 3.MODELO FINAL

### 3.1 Funcionamiento

El sistema desarrollado finalmente cuenta con cuatro brazos guiados para la toma de medidas colocados sobre una estructura de perfiles de aluminio.

Cada brazo presenta un sistema de guiado colocado sobre los soportes y la tuerca del husillo que permite la toma tanto de la medida de fuerza como la distancia recorrida hasta haber conseguido la corrección de la curvatura necesaria. Este mecanismo consta de una serie de piezas impresas en 3D sobre las que se montan los sensores, cuya función se explica a continuación.

**-Pala de contacto:** El paciente se apoya sobre esta pieza, que a su vez transmite la fuerza a la célula de carga. La superficie de contacto tiene una forma curva que abraza la forma del cuerpo y facilita la colocación del paciente en la postura adecuada para la toma de medidas.

En el centro de su superficie posterior presenta una zona esférica, que está pensada para reducir al área de contacto con el sensor de fuerza y así solo actúe sobre el punto central del cabezal medidor. Esto permite alargar la vida del sensor, ya que estos no reaccionan adecuadamente a fuerzas descentradas. Para evitar fuerzas excesivas sobre el sensor, se han colocado unas aletas laterales que bloquean el movimiento de esta pieza al chocar con el soporte del sensor evitando que la fuerza deforme el sensor más del límite especificado por el fabricante, lo que causaría la rotura de éste o un funcionamiento defectuoso.

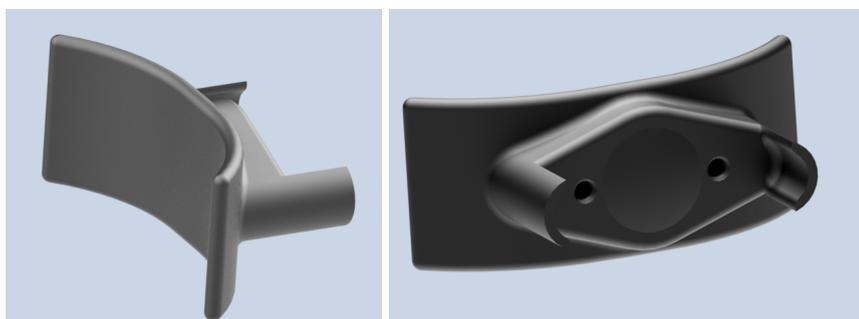


Fig.42 Vistas pala de contacto

**-Soporte de la célula de carga:** se ocupa de sujetar el sensor de fuerza y guiar el movimiento de la pala de contacto. El sensor se coloca en el centro de esta pieza. Tres pletinas concéntricas facilitan el montaje sujetando el sensor en su posición final para poder atornillarlo cómodamente por su base. A los laterales de esta pieza hay dos agujeros que sirven como guía a dos pernos atornillados a la pala de contacto. Este sistema de unión permite un grado de libertad en la dirección del eje de estos pernos. De esta manera solo se permite la transmisión de esfuerzos en el eje del sensor y prevenir momentos de torsión no deseados sobre el sensor. En su cara posterior se encuentran dos cilindros sobre los que encajan por fricción dos tubos que conectan esta pieza con el soporte del encoder en la tuerca del husillo.



Fig.43 Acople del sensor

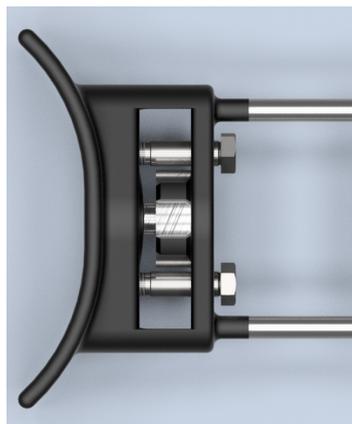


Fig.44 Montaje del sensor

**-Guía de los tubos:** Se acopla a los soportes de los husillos de manera que encaja sobre el abocardado de agujeros pasantes en estas piezas. Los tubos que conectan el soporte de la célula de carga con el soporte del encoder pasan por los agujeros en las orejas laterales de esta pieza lo que evita el giro de las piezas al actuar el husillo.

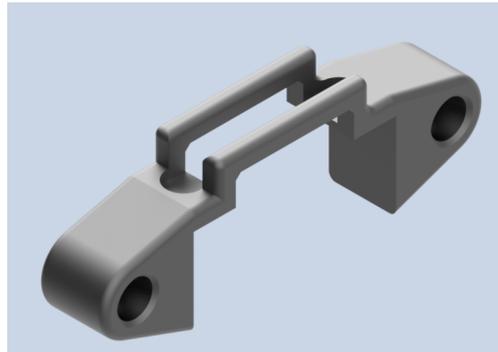


Fig.45 Vistas pala de contacto

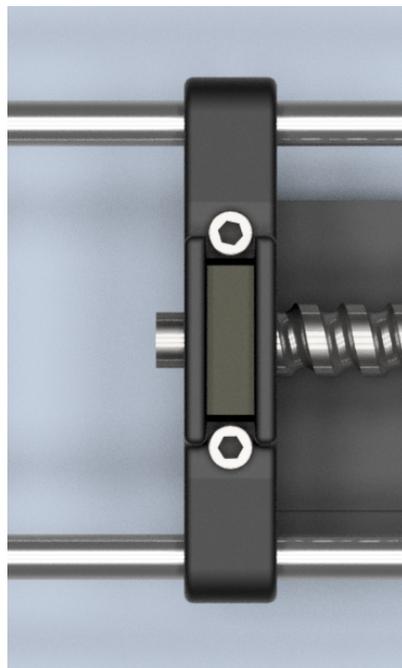


Fig.46 Vistas pala de contacto

**-Soporte del Encoder:** Esta pieza rodea a la tuerca del husillo, a la cual va atornillada para fijarla correctamente. En su cara frontal tiene los mismos conectores presentes en el soporte de la célula de carga para poder unirse entre sí mediante los tubos guía. Uno de sus lados presenta un rebaje con una pletina sobre la que se puede atornillar la cabeza lectora del encoder. Los tubos de guiado evitan que la cabeza entre en contacto directo con la banda magnética consiguiendo no producir daños irreparables a ésta.



Fig.47 Montaje del soporte del encoder

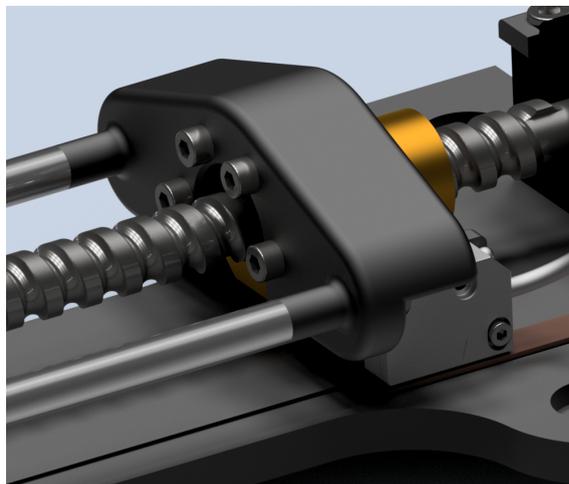


Fig.48 Montaje del soporte del encoder

**-Base del husillo:** Es donde se montan el resto de piezas para poder unirlos a la viga que controla el movimiento vertical del brazo. Para facilitar el montaje de la banda magnética del encoder se ha diseñado la pieza con una ranura del ancho de la banda que indica la posición exacta de montaje.

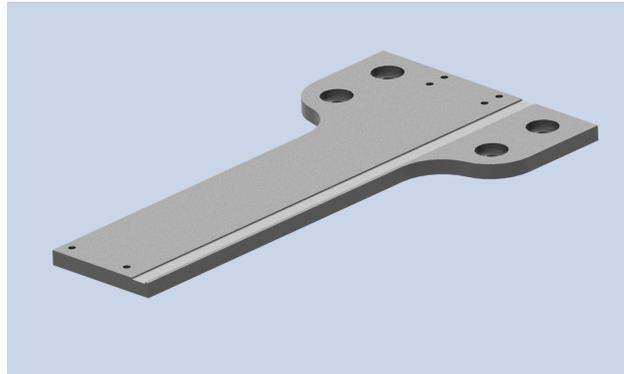


Fig.49 Base del husillo

Para accionar y fijar la posición del husillo, una vez se ha conseguido la corrección adecuada, se han ideado también una serie de piezas para crear un mecanismo de bloqueo del husillo. Este sistema está basado en la estructura de un freno de tambor y sistemas de ajuste por trinquete. Consta de dos pinzas con zonas dentadas que encajan en la rueda dentada en el cuello de la manivela de accionamiento.

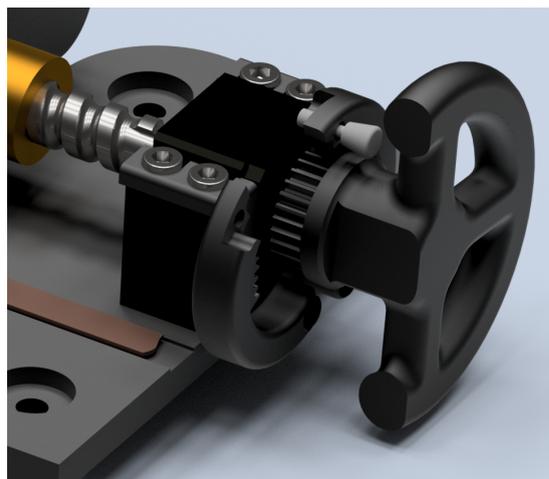


Fig.50 Sistema de freno

Para fijar el movimiento basta con encajar ambas pinzas entre sí una vez que la manivela esté en la posición requerida, fijándose con el botón de la pinza exterior que actúa como pasador. La manivela se mueve solidaria al eje gracias a una conexión por chaveta, y el resto del sistema se coloca sobre el soporte fijo del husillo de la misma manera que la pieza guía de los tubos.



Fig.51 Freno cerrado

Cada brazo medidor va montado sobre una viga unida a una unidad lineal de doble tubo que permite el ajuste de la altura de los brazos. Estas guías están accionadas por un husillo el cual puede manejarse en el extremo inferior de la máquina.



Fig.52 Sistema de elevación

Para hacer que la posición de accionamiento de estos husillos sea más cómoda para el operario, se han colocado una serie de engranajes cónicos que permiten accionar las guías desde la cara posterior de la máquina. Este sistema se acopla a la base de la guía lineal mediante una pieza impresa en 3D que sirve a su vez como base para el sistema de bloqueo mencionado anteriormente.

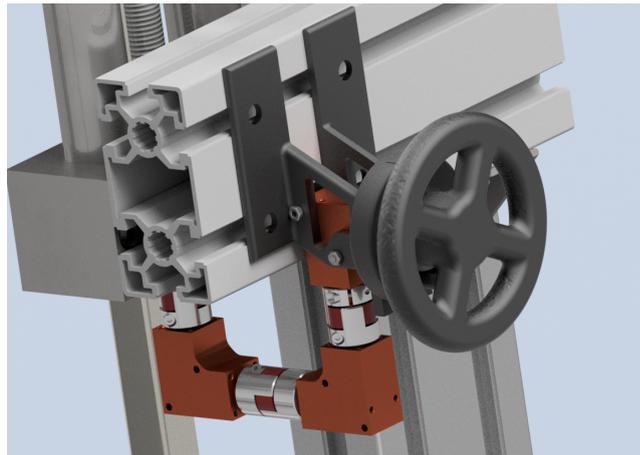


Fig.53 Vistas pala de contacto

Las vigas que sujetan el brazo van guiadas en su extremo contrario a la unidad lineal por una serie de guías cuadradas, tratadas para su uso en este tipo de operaciones, las cuales están fijadas a la estructura principal.

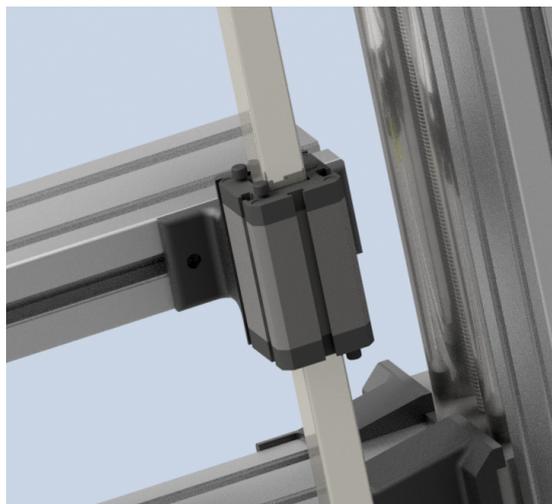


Fig.54 Vistas pala de contacto

La estructura principal está pensada para que una persona se coloque de pie, ya que esta será la posición en la que trabaje el corsé la mayor parte del tiempo, con los brazos estirados y así ajustar los brazos medidores correctamente. Está compuesta por perfiles de aluminio Fasten tipo V Slot de 90x90 en su base, para dar una mayor rigidez a la estructura, mientras que el resto de perfiles son de dimensiones 45x90.

Este tipo de perfiles son muy versátiles ya que ofrecen una gran resistencia y permiten unirse fácilmente entre sí o con otros componentes. En esta estructura se fijan los perfiles de guiado mediante unas piezas impresas en 3D, atornillados a la viga superior y la base de la estructura.

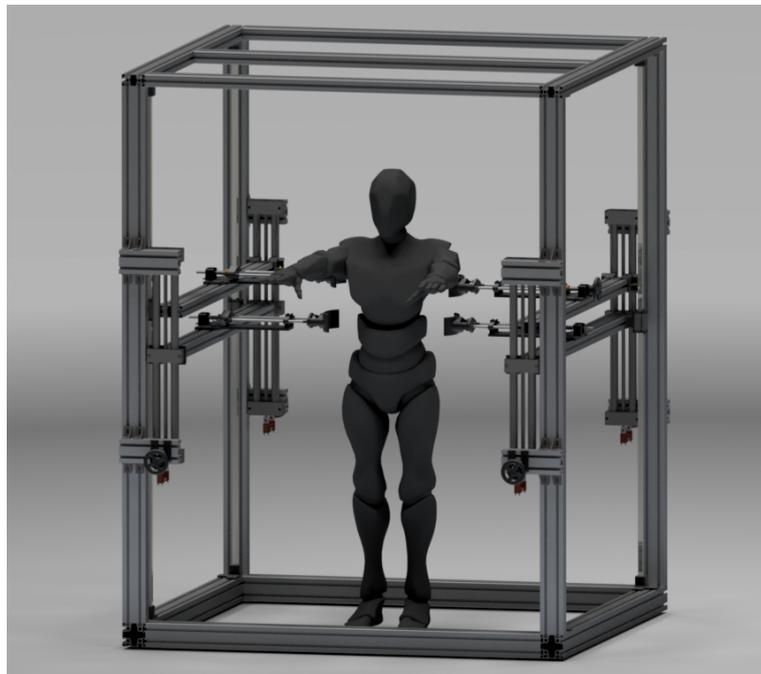


Fig.55 Estructura completa

En esta disposición las vigas sobre las que se montan los brazos dejan un amplio espacio por donde el operario puede hacer un escáner de la persona de la forma más cómoda posible. Además, al ser tan espaciosa permite en un futuro poder incorporar nuevos sistemas de medida o hacer mejorar los sistemas ya existentes incorporando nuevas piezas.

### 3.2 Fabricación

Varias de las piezas utilizadas en la máquina se han tenido que fabricar o modificar por medio de diferentes procesos.

Las piezas impresas en 3D primero han sido diseñadas con software CAD. En este caso se ha utilizado el programa Inventor de Autodesk. Cuando se obtiene la geometría final, se puede proceder a convertir el modelo a formato STL para poder abrirlo en Ultimaker Cura.

Cura es un programa editor de Gcode. Al introducir el modelo a imprimir este programa genera el camino a seguir por la máquina para poder conseguir la geometría requerida. Con este programa pueden editarse cómodamente y rápidamente los diferentes parámetros de la impresión, como la altura de capa, el relleno, el espesor de las capas exteriores, además de la velocidad y temperatura de la máquina.

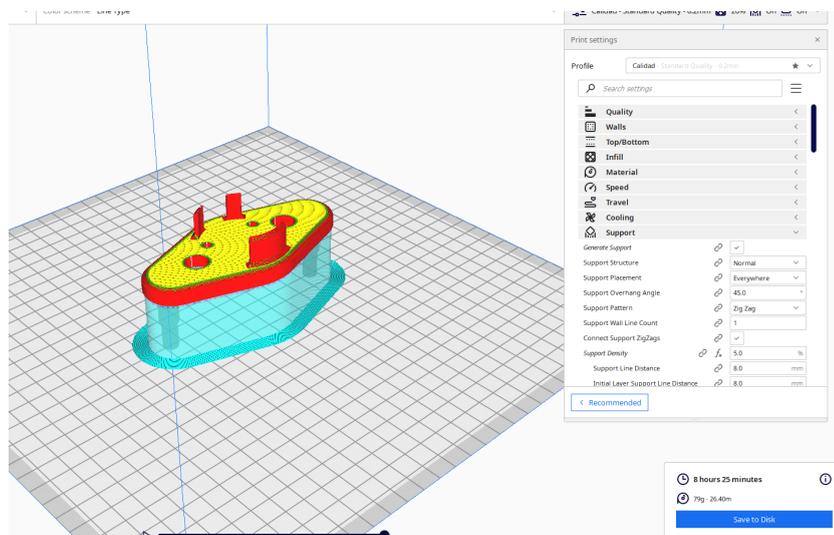


Fig. 56 Interfaz de Cura

Las piezas se han realizado con PLA en un modelo de impresora Creality CR10 que utiliza tecnología de impresión FDM. La tolerancia conseguida por esta máquina en la impresión puede llegar a la décima de

milímetro. Sin embargo, los restos de los soportes pueden afectar a la dimensión de la pieza, por lo que es importante buscar zonas que permitan un rango de tolerancia mayor para colocarlos y así no afectar a la funcionalidad de la pieza.



Fig. 57 Creality CR10

Una vez impresas las piezas se necesita en ocasiones algún tipo de postprocesado para conseguir una calidad superficial aceptable. En este prototipo ha consistido en un lijado de las piezas para eliminar restos de los soportes o eliminar bordes afilados.



Fig. 58 Proceso de impresión

Los husillos han necesitado ser mecanizados ya que inicialmente se compró una barra de 1 metro con rosca trapezoidal. Se tuvo que cortar a medida con una sierra mecánica para posteriormente mecanizar el eje con un torno y poder incorporar una ranura para anillos de retención y un chavetero. Los tubos de guiado también pudieron adquirirse únicamente a una medida que no era la necesitada por lo que tuvieron que cortarse a su medida final con una sierra mecánica.

La estructura fue comprada con unos agujeros ya mecanizados para poder colocarla sobre unas patas base que facilitarían moverla dentro de la sala donde se instale. Otros agujeros se utilizan para colocar el sistema de unión entre perfiles. Este sistema consiste en un vástago metido en un agujero en uno de los perfiles en el que encaja un perno saliente desde el perfil a unir. Posteriormente, se atornilla el vástago para permitir la unión rígida entre los perfiles.

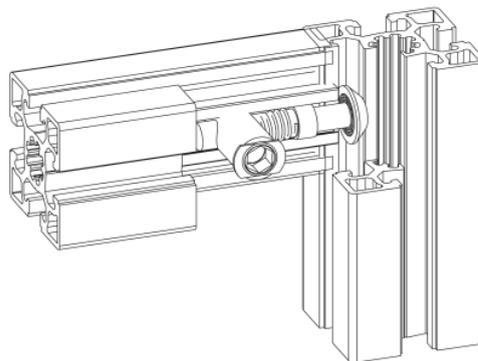


Fig. 59 Esquema del montaje de los perfiles

El sistema de movimiento vertical de los brazos se conecta a esta estructura mediante una serie de escuadras. Al unir estos mecanismos sin necesidad de un mecanizado previo, se permite que en un futuro se puedan realizar modificaciones a la posición de estos sistemas o incorporar nuevos instrumentos para mejorar la toma de medidas o la comodidad del paciente durante el proceso.

### 3.3 Prototipo realizado

Tras varias revisiones del sistema y comprobaciones de las medidas de los diferentes elementos para garantizar el correcto funcionamiento mecánico del sistema, se ha podido realizar un modelo inicial de los brazos y se ha montado la estructura principal. A continuación, pueden verse algunas imágenes de estos modelos.



Fig. 60 Montaje brazo medidor

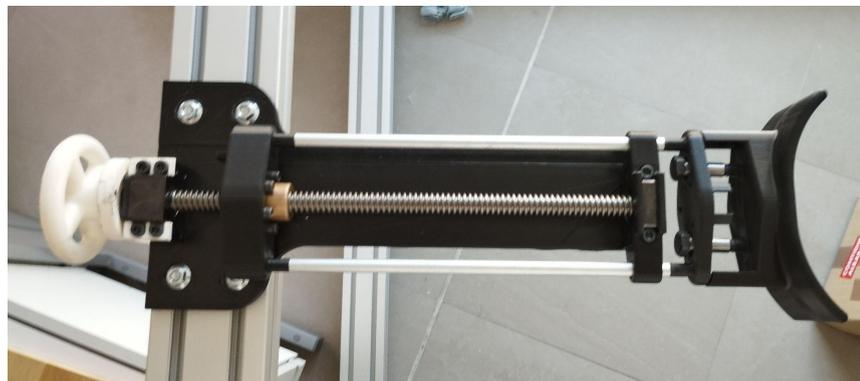


Fig. 61 Vista superior brazo medidor



Fig. 62 Detalle del sistema de freno



Fig. 63 Estructura principal montada



Fig. 64 Ejemplo de actuación de brazo sobre paciente

### 3.4. Coste de Material

Nombre de conjunto : Posicionador de Espalda				
	Tabla 1			
Designación del Material	Unidades	Nº de tabla	Precio por unidad (€)	Total (€)
BRAZO MEDIDOR	4	2	1164,77	4659,08
ESTRUCTURA PRINCIPAL	1	3	1548,78	1548,78
SISTEMA ELEVADOR	4	4	1404,39	5617,56
KG PLA	3		20	60
				11885,42

Nombre de Conjunto: Brazo medidor			
	Tabla 2		
Designación del Material	Unidades	Precio por unidad (€)	Total (€)
42-100K3-10V CÉLULA DE CARGA A COMPRESIÓN ECONÓMICA, RANGO 100 KG, SALIDA AMPLIFICADA 0-10V. PROTECCIÓN IP67. DIÁMETRO 42 MM. X 20MM ALTO.	1	377	377
TETÓN DE APOYO PARA CÉLULA CM Ø42.	1	63	63
CALIBRACIÓN EN COMPRESIÓN DURANTE EL PROCESO DE FABRICACIÓN PARA CÉLULAS CON ELECTRÓNICA	1	122	122



INTEGRADA. RANGO HASTA 100T.			
ENCODER INCREMENTAL MAGNÉTICO LM15, ANALÓGICO, 1 VPP, 5V, CON MARCA DE REFERENCIA, CABLE 1 M, CONECTOR DE 9 PINES	1	173,8	173,8
REGLA LINEAL MAGNÉTICA, PRECISIÓN $\pm 100$ MM/MM, LONGITUD 300 MM, AUTOADHESIVA, MARCA DE REFERENCIA A 10 MM	1	24,65	24,65
HUSILLO ROSCADO TRAPEZ. ROSCA A LA DERECHA LAMINAD, CON PASO ÚNICO L=1000, TR 16X4, ACERO DE CEMENTACIÓN 1.0401	0,5	15,23	7,615
TUERCA ROSCADA ROSCA CUADRADA, CON PASO ÚNICO, TR 16X4, L=24, D1=28, D2=48, LATÓN ROJO	1	49,39	49,39
UNIDAD DE RODAMIENTO FIJO TIPO BK, VERSIÓN DE BLOQUE TA.12, FORMA:B, ACERO, D1=12	2	127,64	255,28
UNI.RODAM.CON APOYO LIBRE TIPO BF, VERSIÓN DE BLOQUE TA.12, D1=10,	2	42,14	84,28



FORMA:B, ACERO NEGRO BRUÑIDO			
TUBO DE ACERO BICROMATADO 10x1 2000mm	0,5	6,25	3,125
TORNILLO CABEZA CILÍN. CON HEXÁGONO INTERIOR DIN912, DIN EN ISO4762 M05X30, ACERO 8.8 ACABADO NATURAL (NEGRO)	4	0,21	0,84
6885- 3X 3X 16 CHAV.PARALELA	1	0,39	0,39
TORNILLO AJUSTE HEX. CON VÁSTAGO ROSCADO SIMILAR A DIN609, D1=11, D=M10, L=50, SW=17, ACERO BRUÑIDO	2	1,64	3,28
912- 3X 12 TORNILLO ALLEN CABEZA CILINDRICA 8.8	3	0,04	0,12
		<b>TOTAL UNIDAD</b>	1164,77

Nombre de Conjunto: Estructura Principal	Tabla 3		
Designación del Material	Unidades	Precio por unidad (€)	Total (€)
PERFIL LIGERO ALUMINIO ANODIZADO 90X90 1500 +MECANIZADO	2	90	180
PERFIL LIGERO ALUMINIO ANODIZADO 90X90 1590 +MECANIZADO	2	95,4	190,8
PERFIL LIGERO ALUMINIO ANODIZADO 90X45 1590 +MECANIZADO	2	62	124
PERFIL LIGERO ALUMINIO ANODIZADO 90X45 1500	3	58,5	175,5



PERFIL LIGERO ALUMINIO ANODIZADO 90X45 2000 +MECANIZADO	4	78	312
CONECTOR DE PERFILES CABEZA REDONDA, CANAL 10 mm	40	1,91	76,4
PIE BASE POLIAMIDA Ø100 M12x70	8	5,83	46,64
CONJUNTO TORNILLO CABEZA MARTILLO 8.8 M8x20 + TUERCA M8	72	0,34	24,48
RAÍL DE PERFIL CUADRADO DRYLIN® Q 20X20	4	104,74	418,96
		<b>TOTAL UNIDAD</b>	1548,78

Nombre de Conjunto: Sistema elevador	Tabla 4		
Designación del Material	Unidades	Precio por unidad (€)	Total (€)
TORNILLO CABEZA CILÍN. CON HEXÁGONO INTERIOR DIN912, DIN EN ISO4762 M06X40, ACERO 8.8 ACABADO NATURAL (NEGRO)	6	0,16	0,96
TORNILLO AVELLANADO CON HEXÁGONO INTERIOR DIN EN ISO10642 M04X12 ROSCA CONTINUA, ACERO 8.8 CINCADO	4	0,52	2,08
UNIDAD LINEAL CON COJINETE DE DESLIZAMI, ROSCA CUADRADA, L=800, S=650, ALUMINIO, COMP:ACERO INOXIDABLE	1	555,23	555,23



ENGRANAJE CÓNICO D=8 ALUMINIO, COMP:ACERO	3	148,09	444,27
ACOPLAM.GARRAS ELAST. CON CUBO SUJECIÓN RADIAL TA.9, D1=8, D2=8, L=30, ALUMINIO, COMP:POLIURETANO, AZUL, D4=20	1	30,91	30,91
ACOPLAM.GARRAS ELAST. CON CUBO SUJECIÓN RADIAL TA.9, D1=9, D2=9, L=24, ALUMINIO, COMP:POLIURETANO, ROJO, D4=20	2	28,04	56,08
PERFIL BÁSICO 45X90 ALUMINIO ANODIZADO NATURAL 8X 225MM	2	8,75	17,5
PERFIL BÁSICO 45X90 ALUMINIO ANODIZADO NATURAL 8X 1450	1	56,5	56,5
912- 3X 30 TORNILLO ALLEN CABEZA CILINDRICA 8.9	3	0,05	0,15
934-M 3-050 TUERCA C8 ZN	3	0,01	0,03
CARRO PARA GUÍA DE PERFIL CUADRADO DRYLIN® Q 20X20	4	56,89	227,56
ESCUADRA ACERO CINCADA 43x43x30	8	1,64	13,12
		<b>TOTAL UNIDAD</b>	1404,39



## 4.CONCLUSIONES



## 4. CONCLUSIONES

Tras haber realizado el diseño de toda la estructura se puede decir que el sistema final cumple la mayoría de los objetivos planteados.

El sistema de brazos medidores es robusto y permite aplicar fácilmente fuerzas sobre la persona sin requerir un alto nivel de esfuerzo por parte del operario. Además, la disposición de los sensores permite conectarlos fácilmente a un dispositivo lector de medidas sin afectar al movimiento del resto del mecanismo, lo que permitiría la toma de estas medidas en tiempo real.

Se ha priorizado el diseño de la estructura en torno a la capacidad del operario para escanear al paciente, por lo que la estructura principal resultante acaba siendo voluminosa.

En base a los cálculos realizados también se puede afirmar que el sistema debería poder funcionar correctamente, incluso ante los casos más extremos sin riesgo de fallo, y que su vida útil debería ser prolongada. Esta rigidez de la estructura unida al fácil sistema de montaje debería contribuir a hacer más sencilla la incorporación de nuevas mejoras al sistema o la incorporación de nuevos mecanismos de medida que pudieran necesitar aplicar fuerzas mayores.



## 5. LÍNEAS FUTURAS



## 5. LÍNEAS FUTURAS

El proyecto tiene varias vías por las que continuar. Por un lado se podrían buscar incorporar instrumentos que mejorarán la comodidad del paciente durante el proceso de medida.

También podrían añadirse otros brazos medidores en los lados libres de la estructura para observar las reacciones causadas por la aplicación de las fuerzas laterales de corrección y así poder crear corsés más cómodos de llevar que los existentes en el mercado a día de hoy, manteniendo un alto nivel de corrección. A su vez, podrían incorporarse mecanismos para tomar otras medidas que podrían ser de interés a la hora de comprobar el correcto funcionamiento del corsé, como el ángulo de giro que sufre la persona al ser sometida a estas fuerzas laterales.

La estructura podría adaptarse también para convertirse en un banco de pruebas para los propios corsés y, a base de nuevos sistemas, asegurar una calidad adecuada en el proceso de fabricación y un correcto funcionamiento de este del propio corsé.

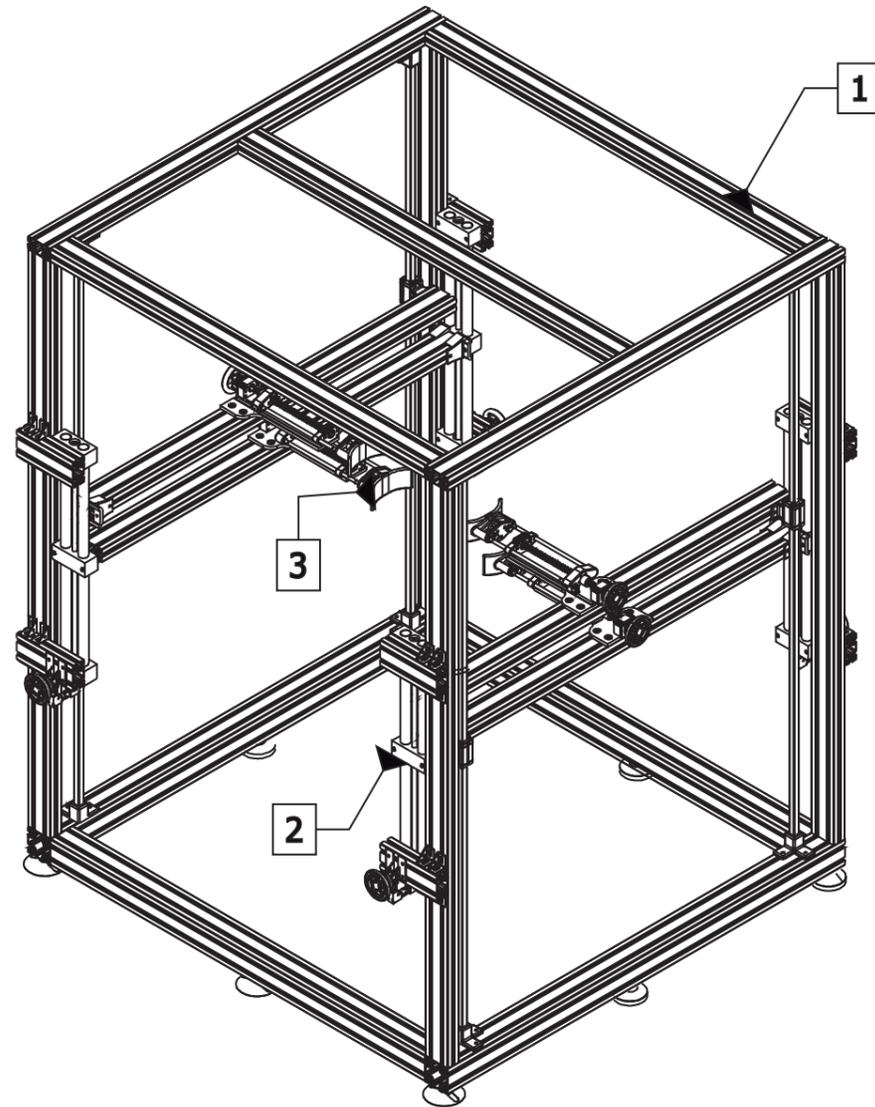
Más adelante cabe la posibilidad de incorporar sistemas que puedan servir para crear corsés para otros tipos de curvaturas de la espalda como la cifosis o la lordosis.



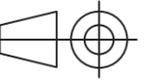
## 6. ANEJOS

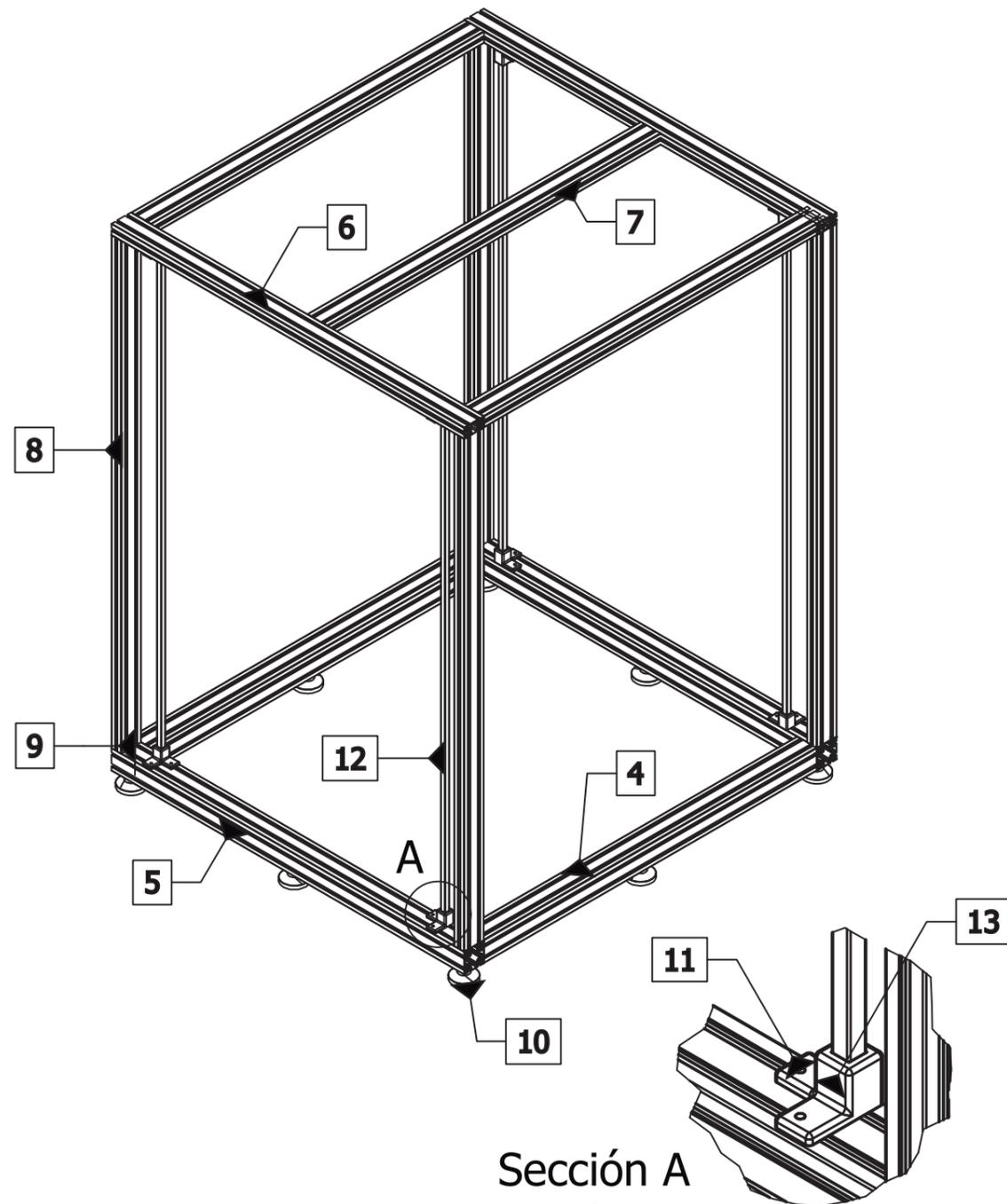


## 6.1 Planos



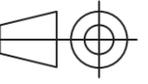
1	Estructura Principal	1	2
2	Sistema elevador	4	3
3	Brazo Medidor	4	4
Marca	Nombre	Cantidad	Plano

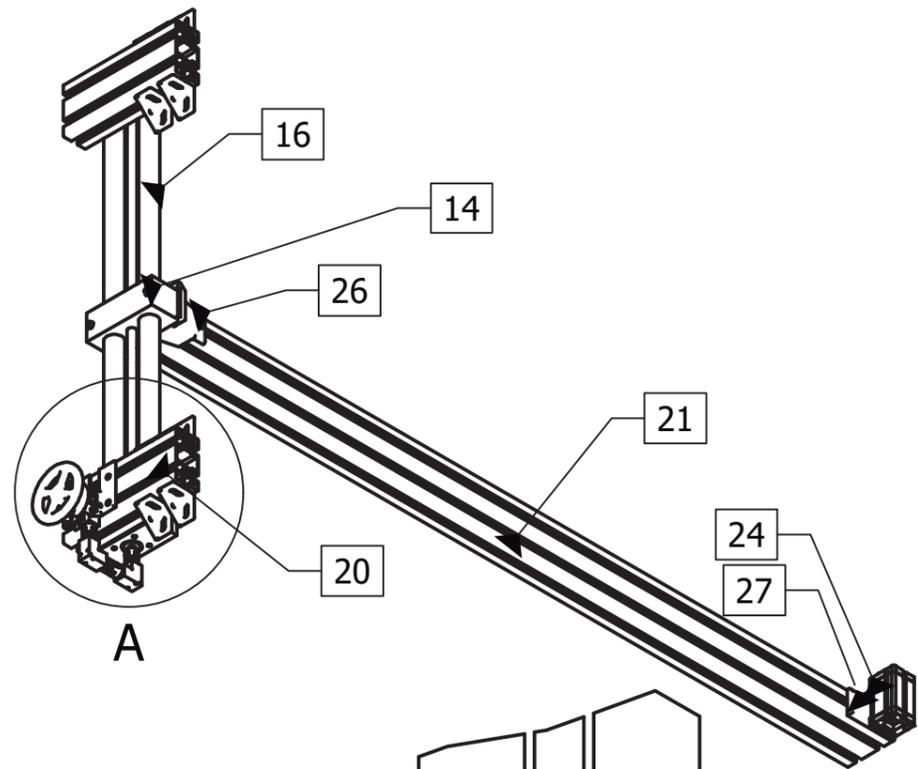
Denominación					<b>Posicionador de Espalda</b>		
Dibujado	Fecha	Nombre	Tamaño	Marca		<b>0</b>	 Universidad de Valladolid 
	22/3/23	Alberto A.A	<b>A3</b>				
Escala	Plano	Conjunto			<b>Posicionador de Espalda</b>		
<b>1:20</b>	<b>1/18</b>						



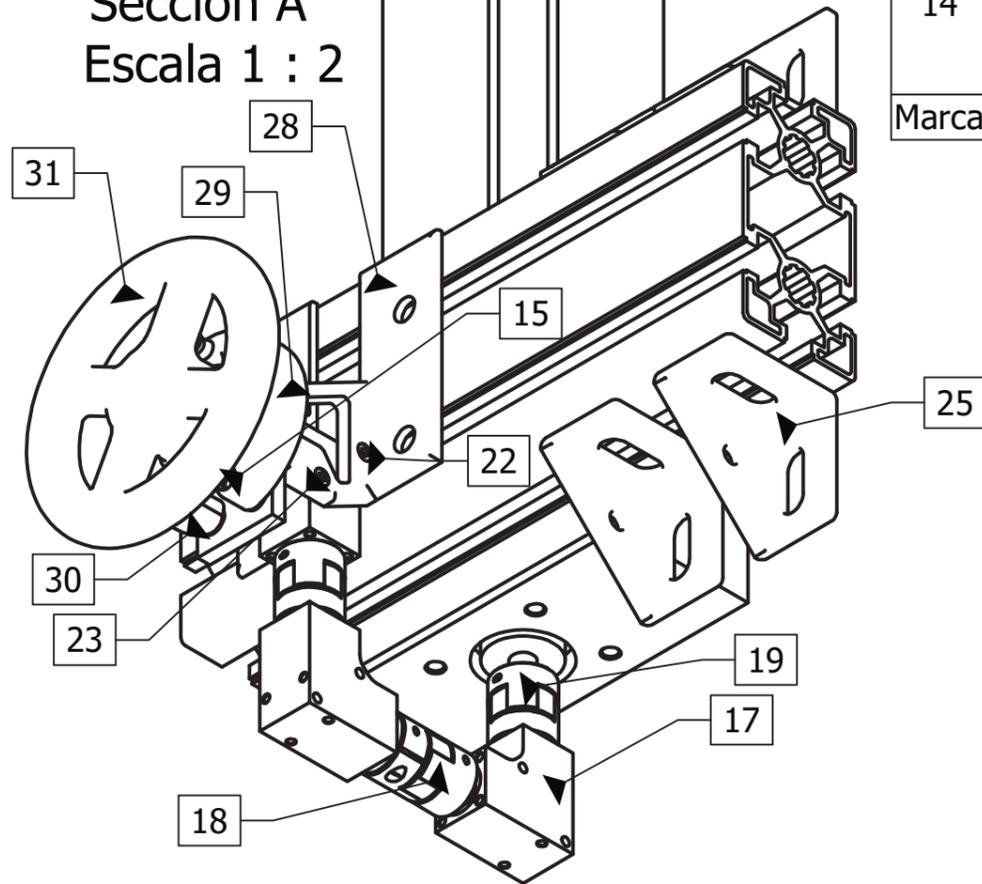
Sección A  
Escala 1 : 5

13	Base Guía	8	5
12	RAÍL DE PERFIL CUADRADO DRYLIN® Q 20X20	4	
11	CONJUNTO TORNILLO CABEZA MARTILLO 8.8 M8x20 + TUERCA M8	72	
10	PIE BASE POLIAMIDA Ø100 M12x70	8	
9	CONECTOR DE PERFILES CABEZA REDONDA, CANAL 10 mm	40	
8	PERFIL LIGERO ALUMINIO ANODIZADO 90X45 2000 +MECANIZADO	4	
7	PERFIL LIGERO ALUMINIO ANODIZADO 90X45 1500 +MECANIZADO	3	
6	PERFIL LIGERO ALUMINIO ANODIZADO 90X45 1590 +MECANIZADO	2	
5	PERFIL LIGERO ALUMINIO ANODIZADO 90X90 1590+MECANIZADO	2	
4	PERFIL LIGERO ALUMINIO ANODIZADO 90X90 1500 +MECANIZADO	2	
Marca	Nombre	Cantidad	Plano

Denominación					<b>Estructura Principal</b>		 Universidad de Valladolid
	Fecha	Nombre	Tamaño	Marca			
Dibujado	22/3/23	Alberto A.A	<b>A3</b>	<b>1</b>			
Escala	Plano	Conjunto					
<b>1:20</b>	<b>2/18</b>	<b>Posicionador de Espalda</b>					



Sección A  
Escala 1 : 2



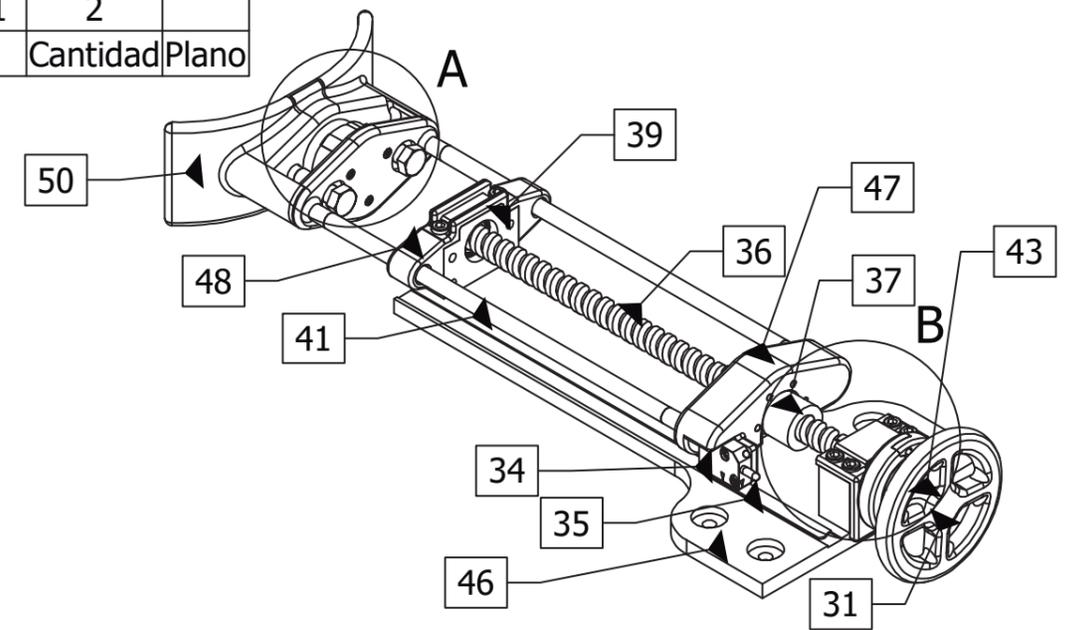
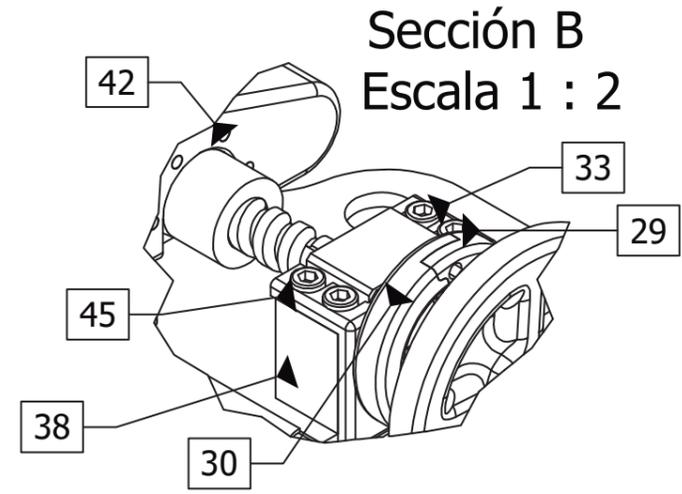
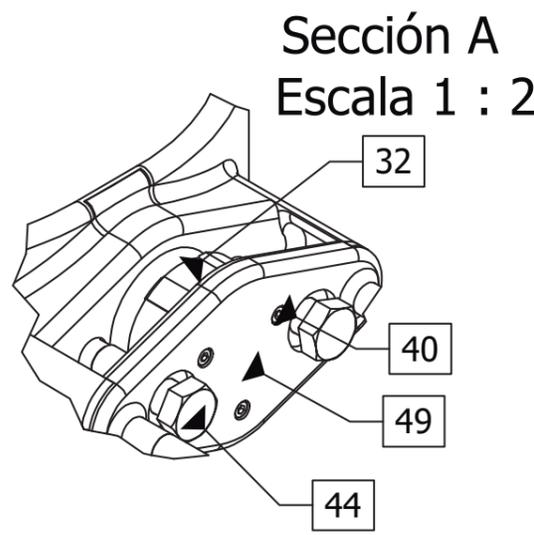
18	ACOPLAM.GARRAS ELAST. CON CUBO SUJECIÓN RADIAL TA.9, D1=8, D2=8, L=30, ALUMINIO, COMP:POLIURETANO, AZUL, D4=20	1		31	Manivela	1	11
				30	Piza freno izquierda	1	10
				29	Pinza freno derecha	1	9
				28	Soporte freno husillo vertical	1	8
				27	Acople guía vertical	1	7
				26	Acople de viga	2	6
17	ENGRANAJE CÓNICO D=8 ALUMINIO, COMP:ACERO	3		25	ESCUADRA ACERO CINCADA 43x43x30	8	
16	UNIDAD LINEAL CON COJINETE DE DESLIZAMI, ROSCA CUADRADA, L=800, S=650, ALUMINIO, COMP:ACERO INOXIDABLE	1		24	CARRO PARA GUÍA DE PERFIL CUADRADO DRYLIN® Q 20X20	4	
				23	934-M 3-050 TUERCA C8 ZN	3	
				22	912- 3X 30 TORNILLO ALLEN CABEZA CILINDRICA 8.9	3	
15	TORNILLO AVELLANADO CON HEXÁGONO INTERIOR DIN EN ISO10642 M04X12 ROSCA CONTINUA, ACERO 8.8 CINCADO	4		21	PERFIL BÁSICO 45X90 ALUMINIO ANODIZADO NATURAL 8X 1450	1	
				20	PERFIL BÁSICO 45X90 ALUMINIO ANODIZADO NATURAL 8X 225MM ACOPLAM.GARRAS ELAST. CON CUBO SUJECIÓN RADIAL TA.9, D1=9, D2=9, L=24, ALUMINIO, COMP:POLIURETANO, ROJO, D4=20	2	
14	TORNILLO CABEZA CILÍN. CON HEXÁGONO INTERIOR DIN912, DIN EN ISO4762 M06X60, ACERO 8.8 ACABADO NATURAL (NEGRO)	6		19			
Marca	Nombre	Cantidad	Plano	Marca	Nombre	Cantidad	Plano

Denominación								<b>Sistema elevador</b>	
	Fecha	Nombre	Tamaño		Marca		<b>A3</b>		<b>2</b>
Dibujado	22/3/23	Alberto A.A							
Escala		Plano		Conjunto		<b>Posicionador de Espalda</b>			
<b>1:10</b>		<b>3/17</b>							

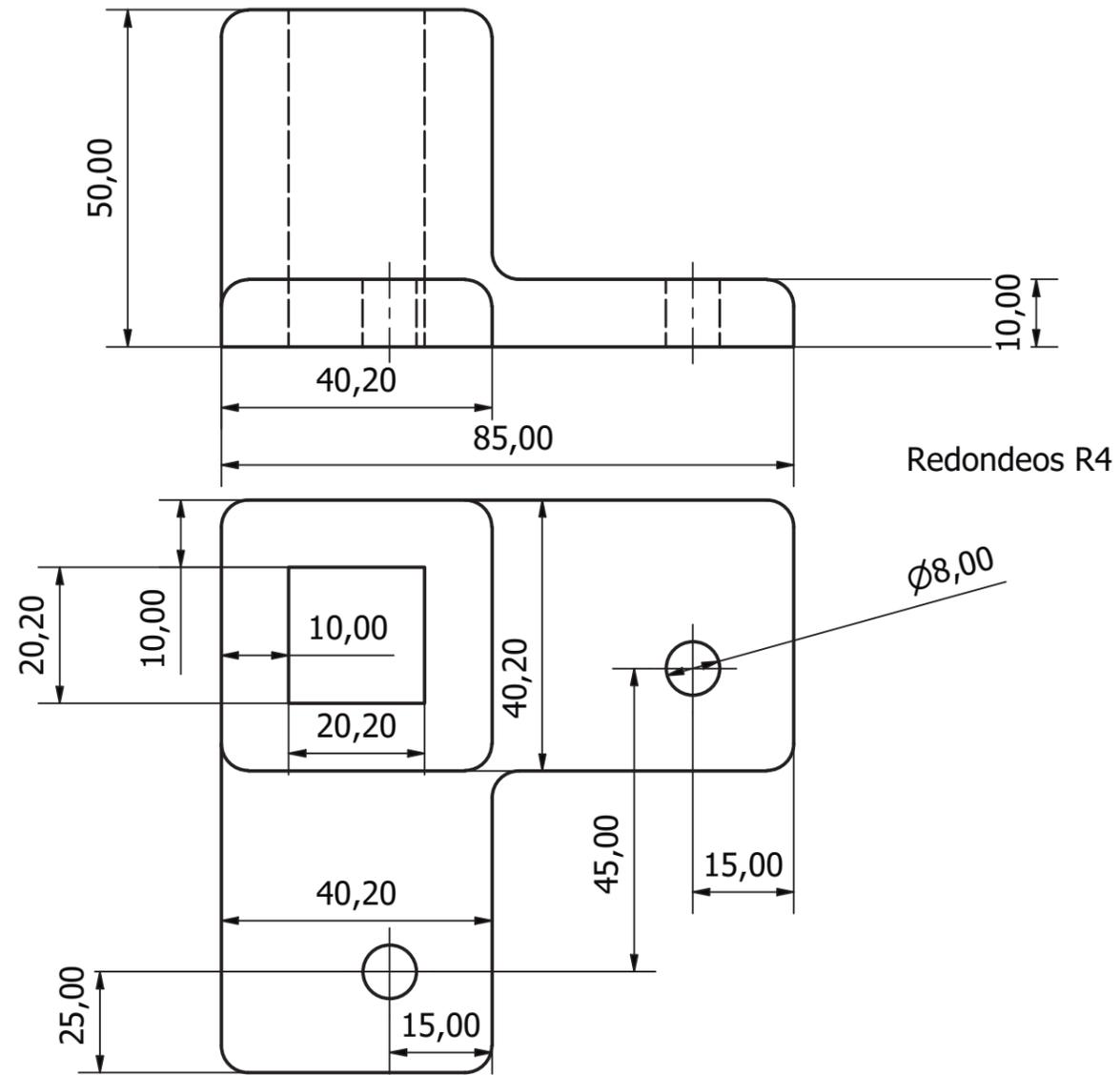


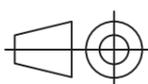
40	DIN912, DIN EN ISO4762 M03x12	3	
39	UNI.RODAM.CON APOYO LIBRE TIPO BF, VERSIÓN DE BLOQUE TA.12, D1=10, FORMA:B, ACERO NEGRO BRUÑIDO	1	
38	UNIDAD DE RODAMIENTO FIJO TIPO BK, VERSIÓN DE BLOQUE TA.12, FORMA:B, ACERO, D1=12	1	
37	TUERCA ROSCADA ROSCA CUADRADA, CON PASO ÚNICO, TR 16X4, L=24, D1=28, D2=48, LATÓN ROJO	1	
36	HUSILLO ROSCADO TRAPEZ. ROSCA A LA DERECHA LAMINAD, CON PASO ÚNICO L=1000, 16x4	1	12
35	REGLA LINEAL MAGNÉTICA, PRECISIÓN ±100 MM/MM, LONGITUD 300 MM, AUTOADHESIVA, MARCA DE REFERENCIA A 10 MM	1	
34	ENCODER INCREMENTAL MAGNÉTICO LM15, ANALÓGICO, 1 VPP, 5V, CON MARCA DE REFERENCIA, CABLE 1 M, CONECTOR DE 9 PINES	1	
33	DIN912, DIN EN ISO4762 M06X40, ACERO 8.8	1	
32	42-100K3-10V CÉLULA DE CARGA A COMPRESIÓN ECONÓMICA, RANGO 100 KG, SALIDA AMPLIFICADA 0-10V. PROTECCIÓN IP67. DIÁMETRO 42 MM. X 20MM ALTO. CON TETON DE APOYO	1	
Marca	Nombre	Cantidad	Plano

50	Pala de contacto	1	18
49	Acople sesor de fuerza	1	17
48	Soporte de las guías	1	16
47	Soporte del encoder	1	15
46	Carro de husillo	1	14
45	Base de freno	1	13
31	Manivela	1	11
30	Pinza de freno izquierda	1	10
29	Pinza de freno derecha	1	9
44	DIN609, D1=11, D=M10, L=50, SW=17, ACERO BRUÑIDO	1	
43	6885- 3X 3X 16 CHAV.PARALELA DIN912, DIN EN ISO4762 M05X30, ACERO 8.8	1	
42		2	
41	TUBO DE ACERO BICROMATADO 10x1	2	
Marca	Nombre	Cantidad	Plano

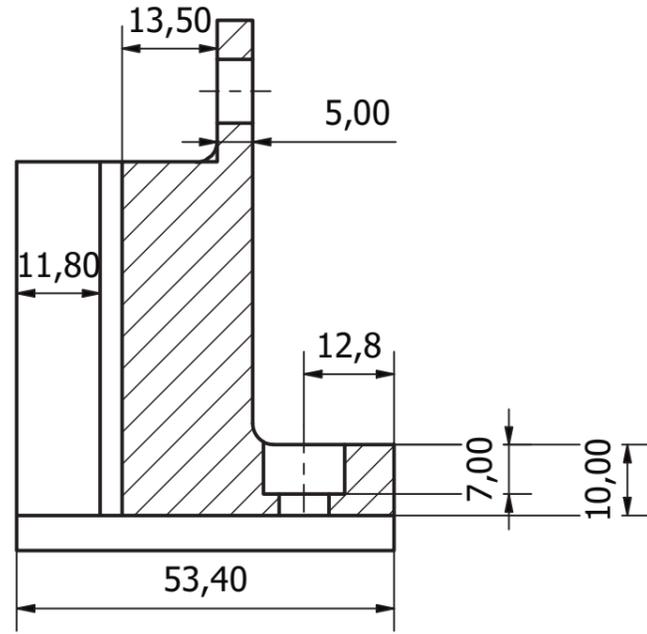


Denominación					<b>Brazo Medidor</b>	
Dibujado	Fecha	Nombre	Tamaño	Marca	<b>A3</b> <b>3</b>	
	22/3/23	Alberto A.A				
Escala	Plano	Conjunto			<b>Posicionador de Espalda</b>	
<b>1:5</b>	<b>4/18</b>					

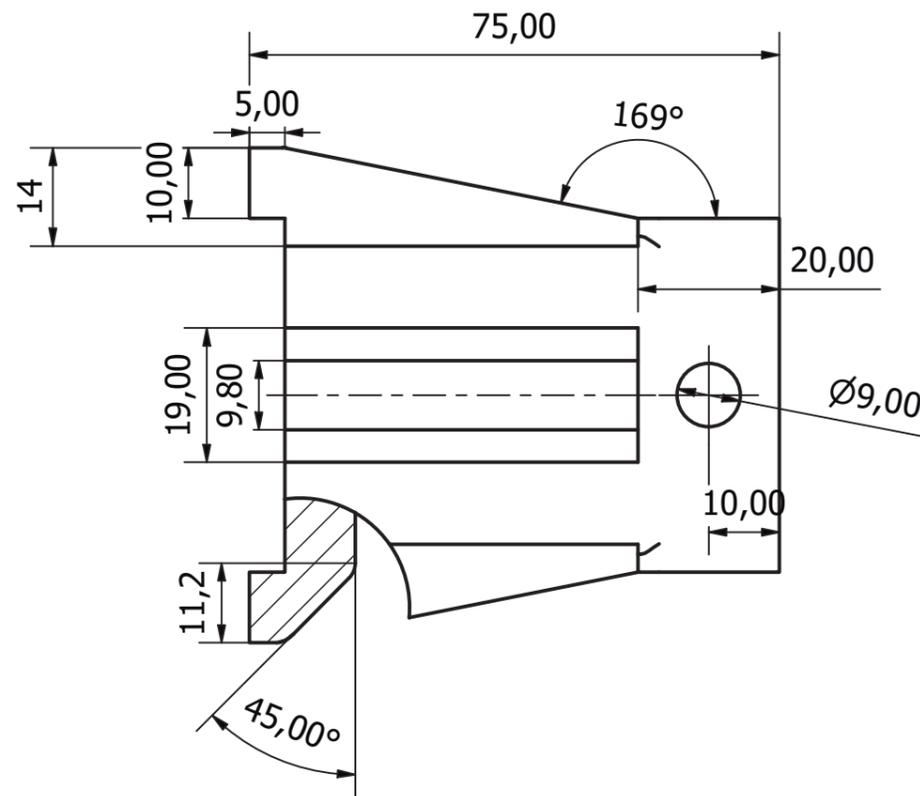
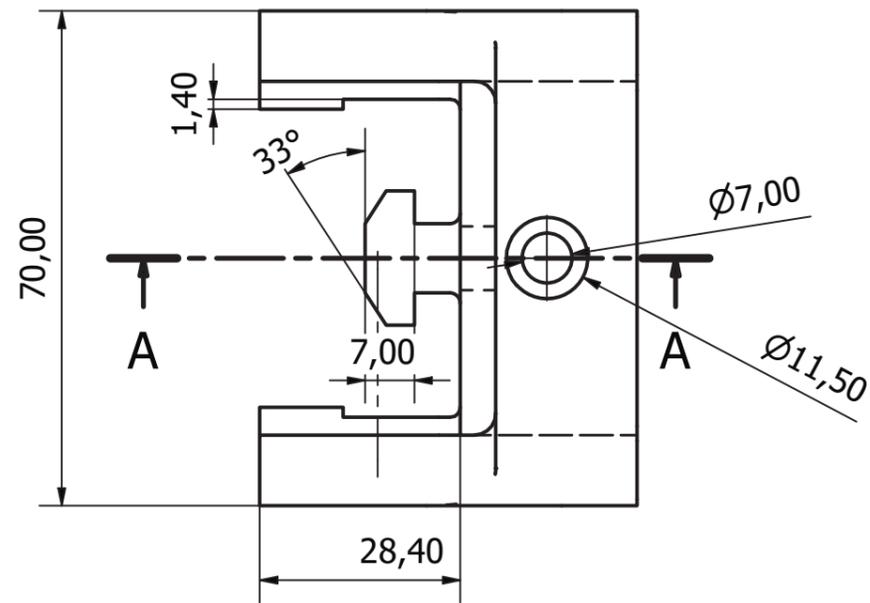


Tolerancias generales para las dimensiones sin indicación en el dibujo <b>ISO 2768-mK</b>		Material <b>Ácido Poliáctico (PLA)</b>	Calidad superficial Impresión FDM 	
Dibujado	Fecha 22/3/23	Nombre Alberto A.A	Denominación <b>Base guías</b>	Marca <b>13</b>  
Escala <b>1:1</b>	Plano <b>5/18</b>	Conjunto <b>Posicionador de Espalda</b>	Tamaño <b>A3</b>	

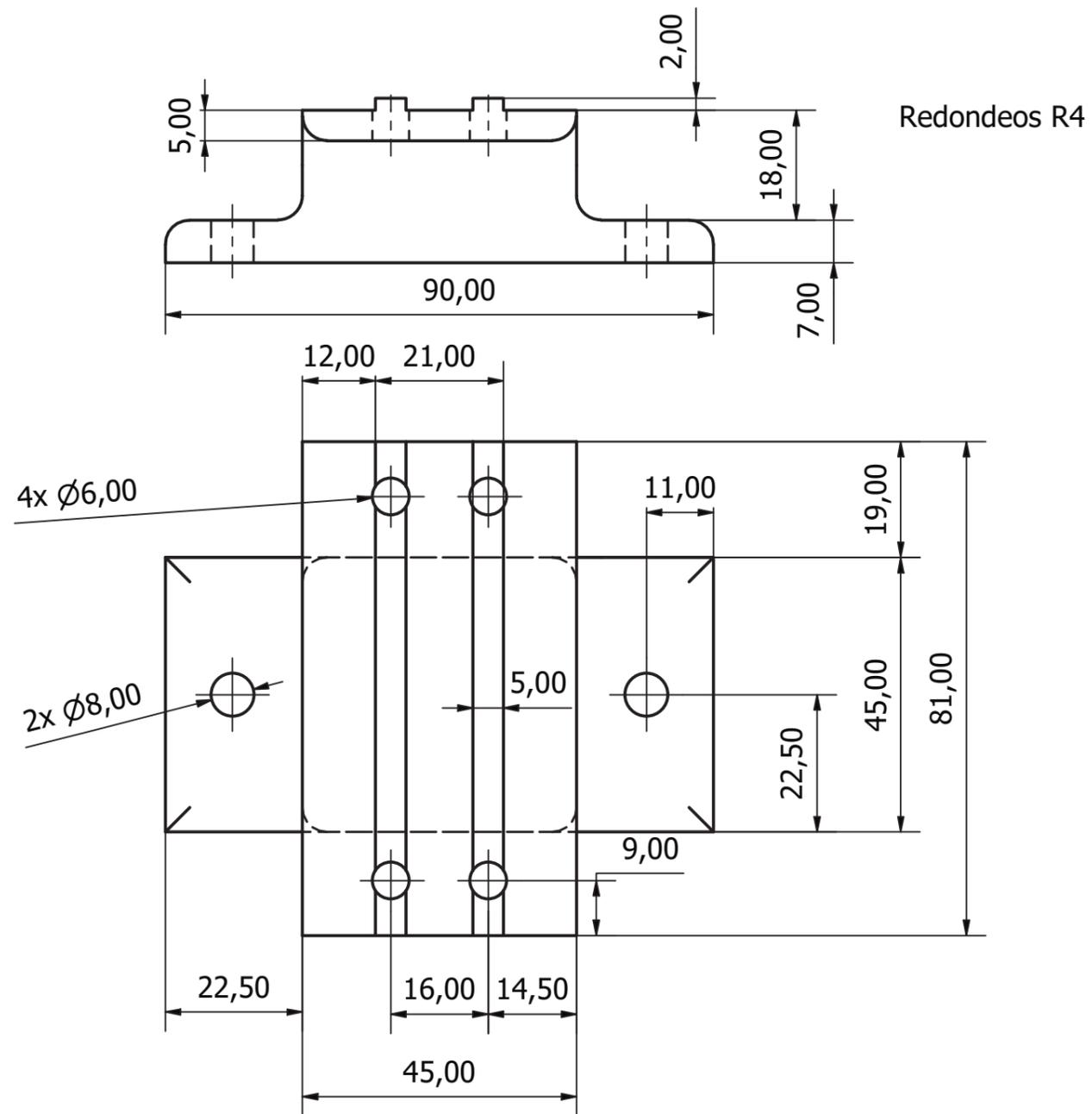
Sección A-A  
Escala 1 : 1

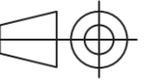


Redondeos R3

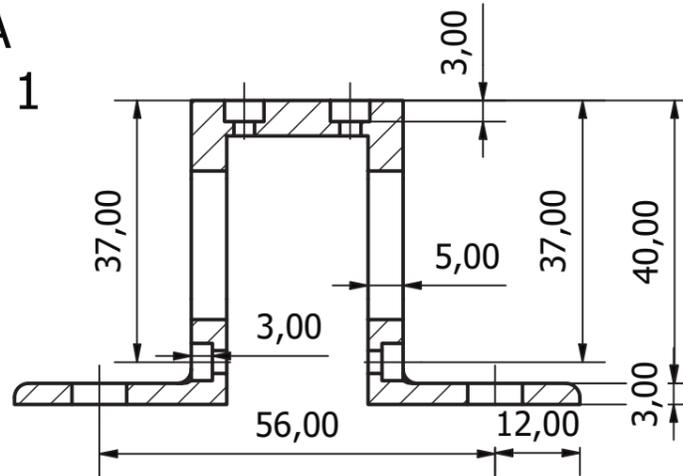


Tolerancias generales para las dimensiones sin indicación en el dibujo <b>ISO 2768-mK</b>		Material <b>Ácido Poliáctico (PLA)</b>	Calidad superficial Impresión FDM 	
Dibujado	Fecha 22/3/23	Nombre Alberto A.A	Denominación <b>Acople de viga</b>	Marca <b>26</b> 
Escala <b>1:1</b>	Plano <b>6/18</b>	Conjunto <b>Posicionador de Espalda</b>	Tamaño <b>A3</b>	

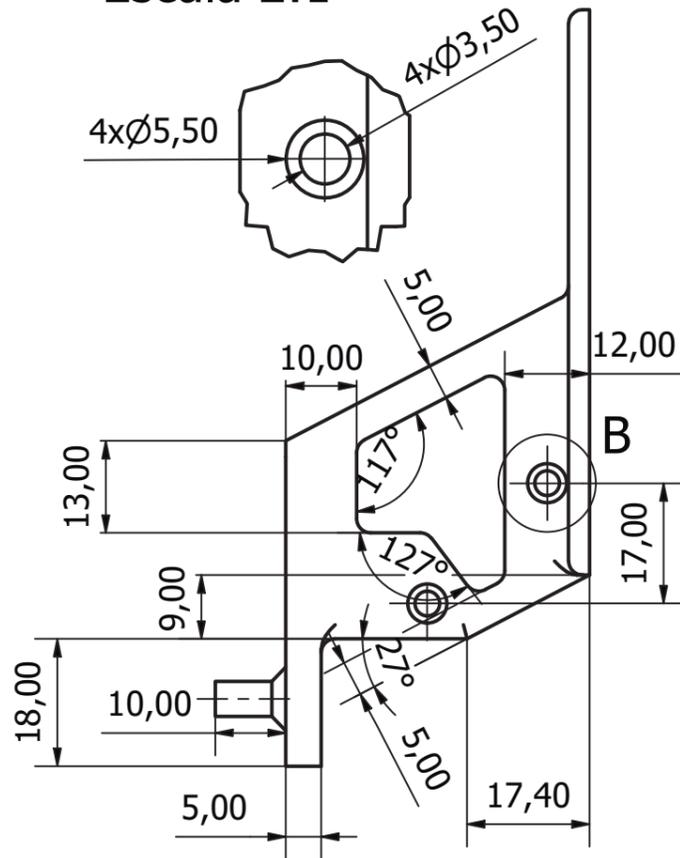


Tolerancias generales para las dimensiones sin indicación en el dibujo <b>ISO 2768-mK</b>			Material <b>Ácido Poliáctico (PLA)</b>		Calidad superficial Impresión FDM	
Fecha 22/3/23		Nombre Alberto A.A		Denominación <b>Acople guía vertical</b>		Marca <b>27</b>
Escala <b>1:1</b>		Plano <b>7/18</b>		Conjunto <b>Posicionador de Espalda</b>		Tamaño <b>A3</b>
				 		

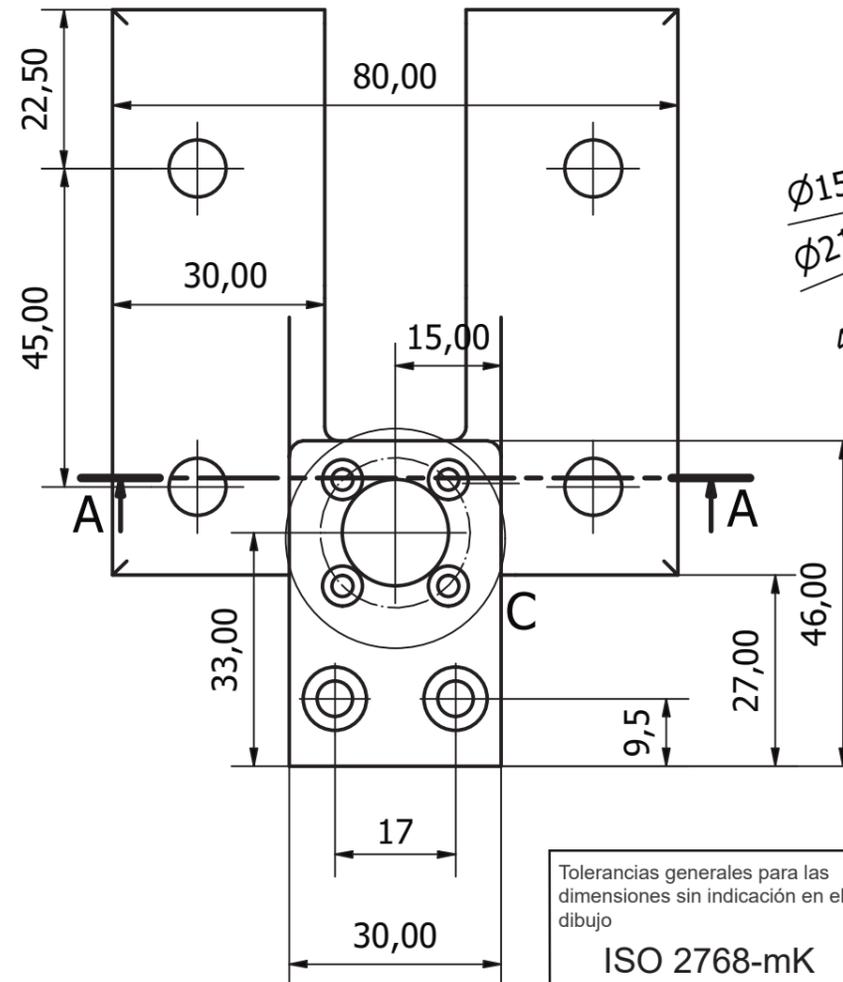
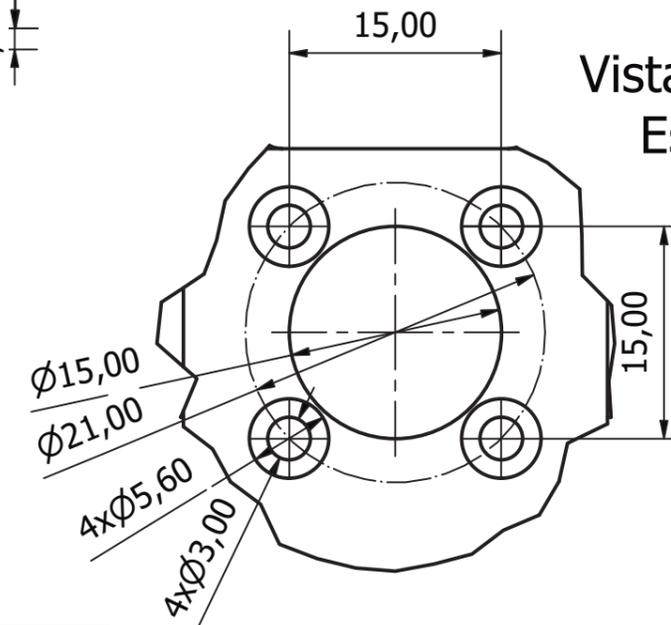
Corte A-A  
Escala 1 : 1

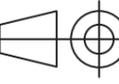


Vista de Detalle B  
Escala 2:1

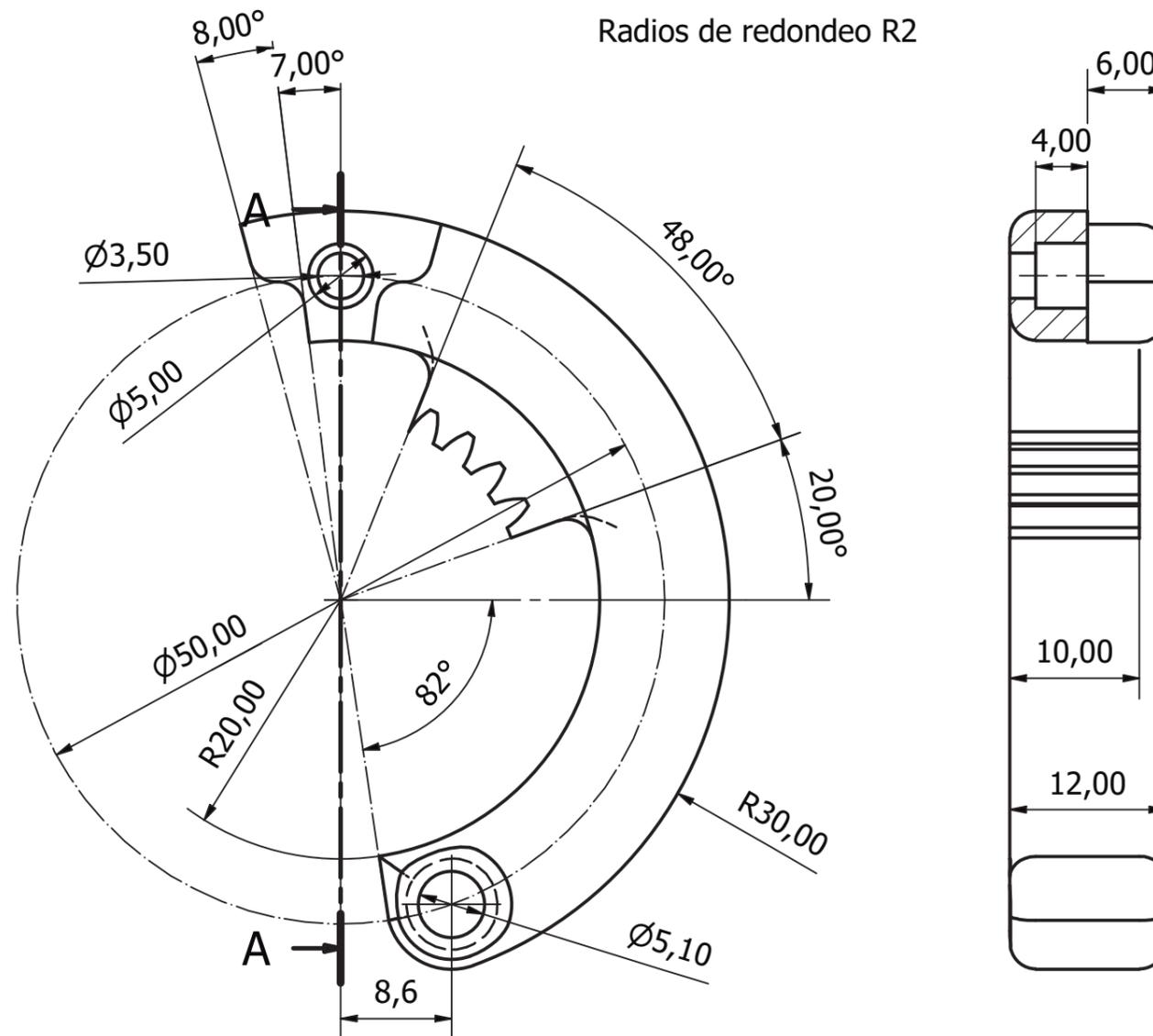


Vista de Detalle C  
Escala 2 : 1



Tolerancias generales para las dimensiones sin indicación en el dibujo		Material	Calidad superficial	
ISO 2768-mK		Ácido Poliácido (PLA)	Impresión FDM	
Fecha	Nombre	Denominación	Marca	 
Dibujado	22/3/23	Alberto A.A.	Soporte freno husillo vertical	
Escala	Plano	Conjunto	Tamaño	
1:1	8/18	Posicionador de Espalda	A4	

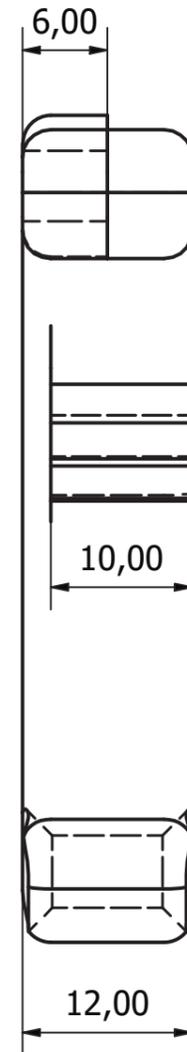
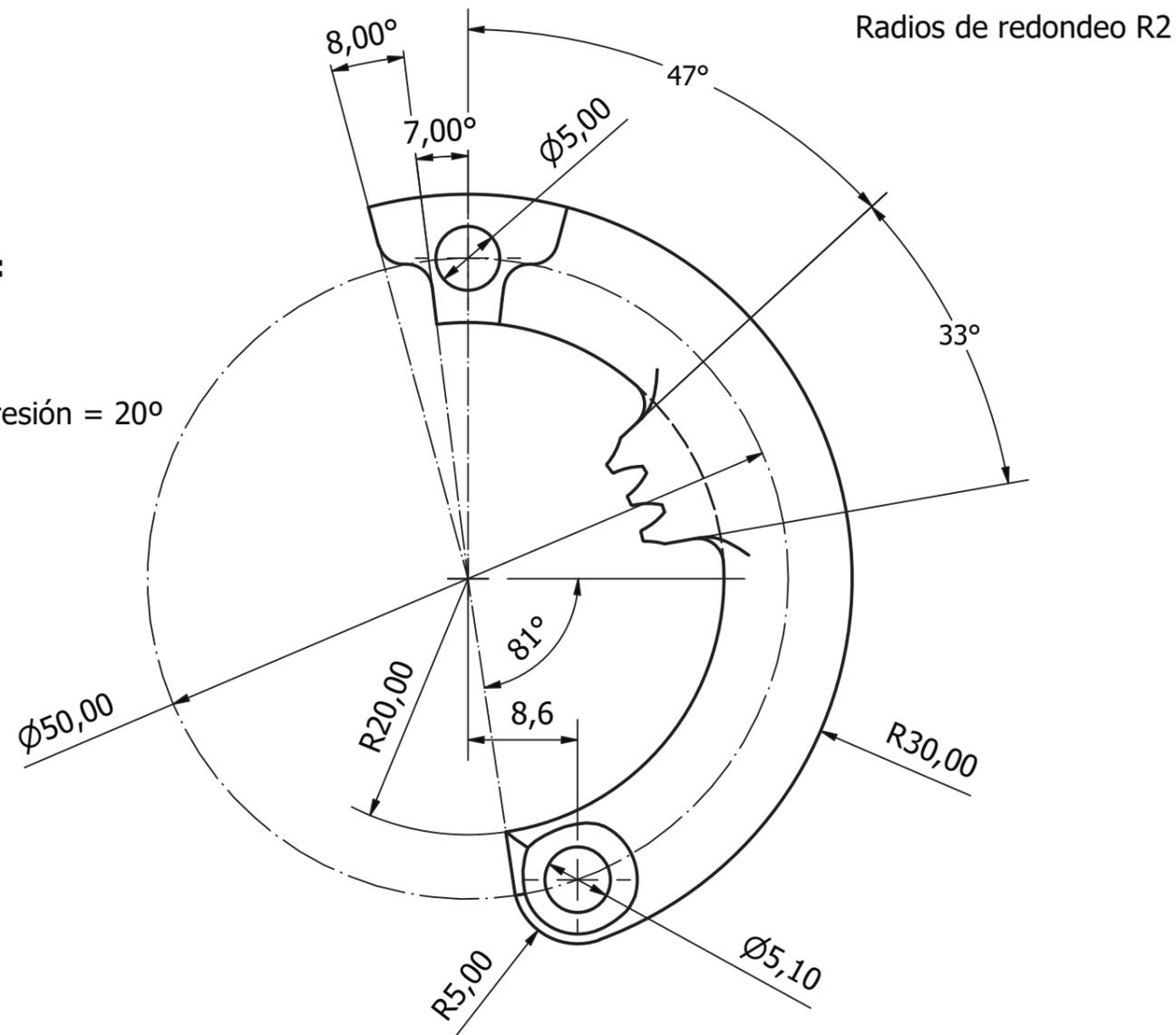
**Engranaje :**  
 m=1mm  
 dp=30mm  
 Z= 4  
 Angulo de presión = 20°



A-A ( 2 : 1 )

Tolerancias generales para las dimensiones sin indicación en el dibujo		Material		Calidad superficial	
ISO 2768-mK		Ácido Poliáctico (PLA)		Impresión FDM	
Dibujado	Fecha	Nombre	Denominación	Marca	
	22/3/23	Alberto A.A	<b>Pinza de freno derecha</b>	<b>29</b>	
Escala	Plano	Conjunto	Tamaño		
<b>2:1</b>	<b>9/17</b>	<b>Posicionador de Espalda</b>	<b>A3</b>		

**Engranaje :**  
 m=1mm  
 dp=30mm  
 Z=30  
 Angulo de presión = 20°



Tolerancias generales para las dimensiones sin indicación en el dibujo <b>ISO 2768-mK</b>		Material <b>Ácido Poliáctico (PLA)</b>	Calidad superficial Impresión FDM 	
Dibujado	Fecha 22/3/23	Nombre Alberto A.A	Denominación <b>Pinza de Freno Izquierda</b>	Marca <b>30</b> 
Escala <b>2:1</b>	Plano <b>10/18</b>	Conjunto <b>Posicionador de Espalda</b>	Tamaño <b>A3</b>	

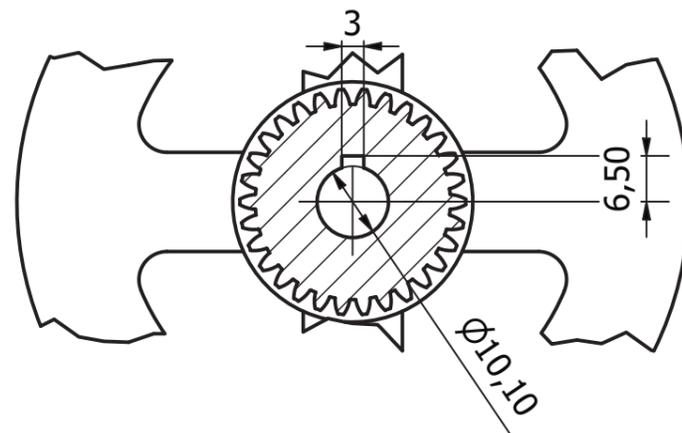
**Engranaje :**

m=1mm

dp=30mm

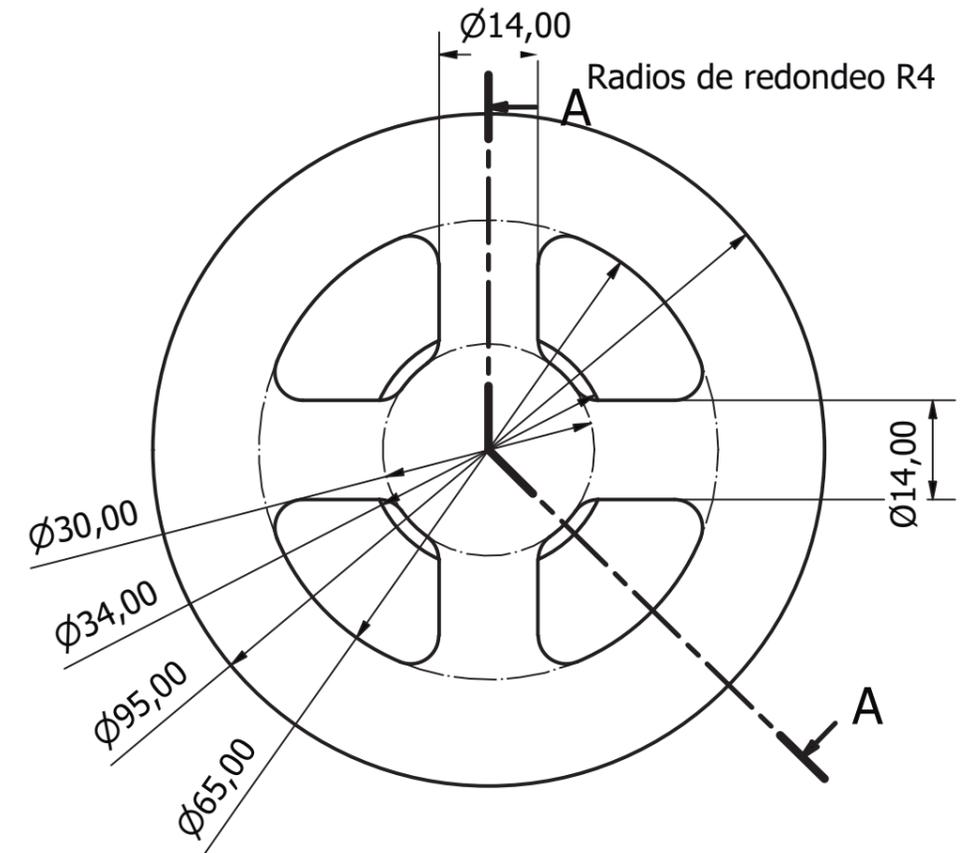
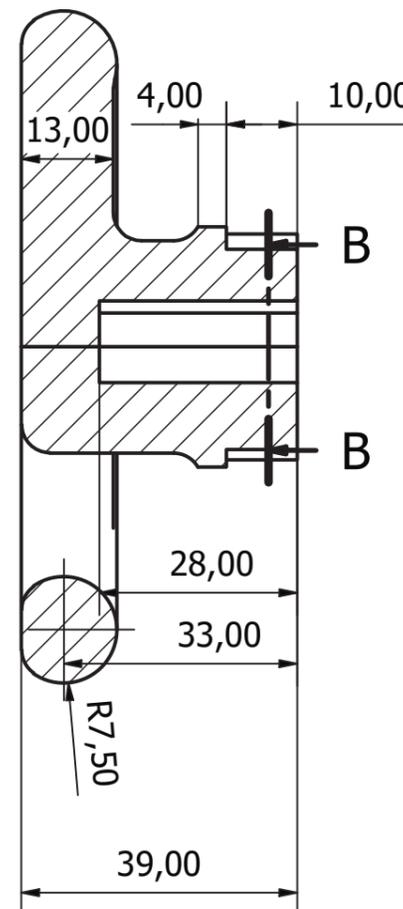
Z=30

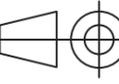
Angulo de presión = 20°



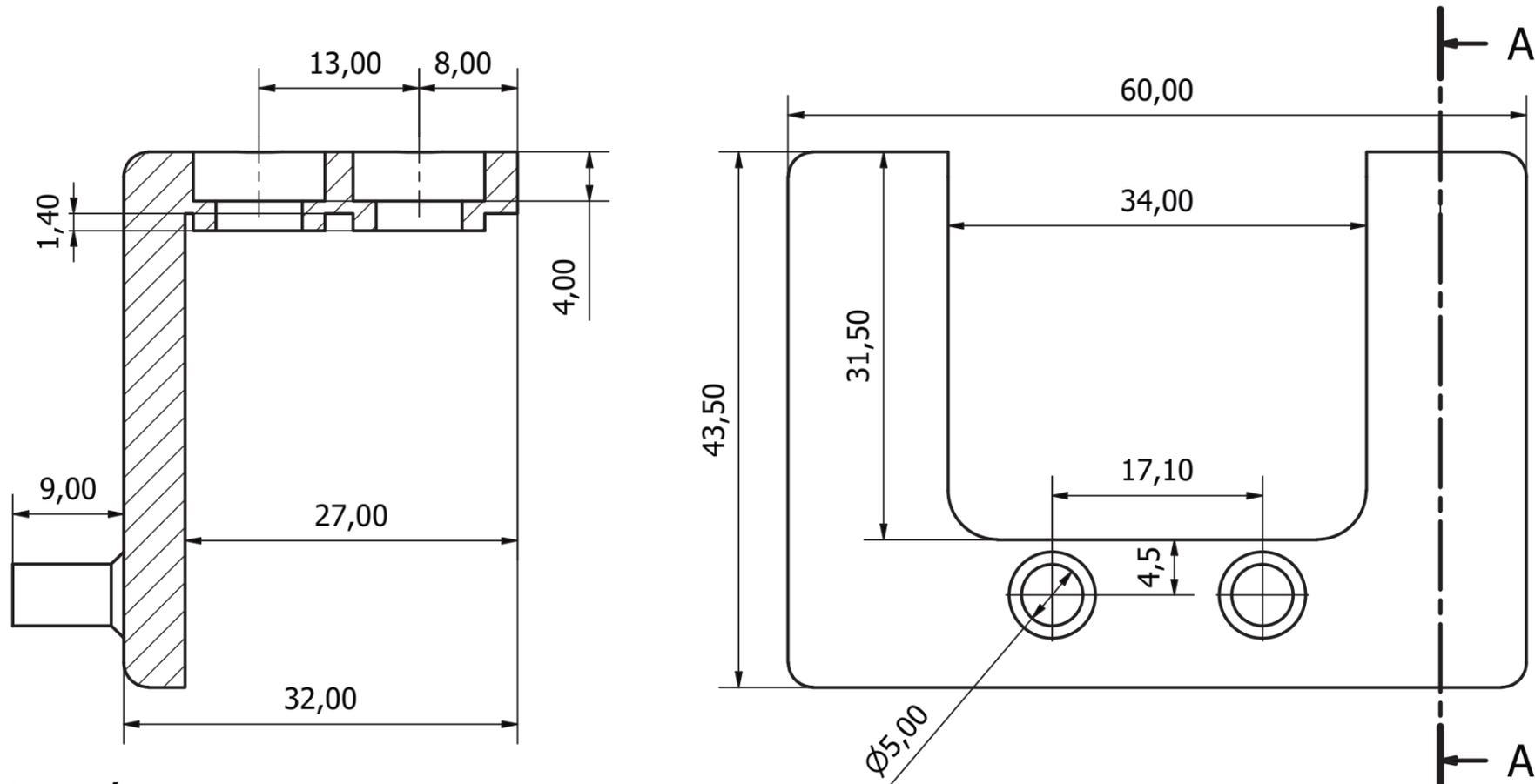
Sección E-E  
Escala 1 : 1

**Sección D-D**  
**Escala 1 : 1**

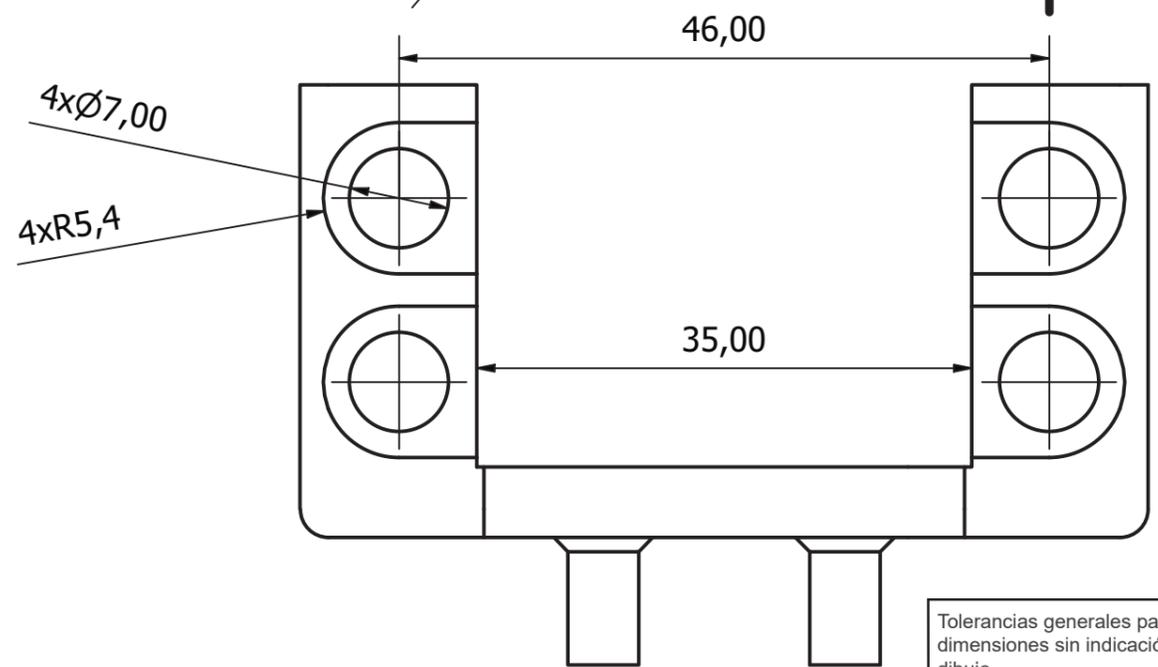


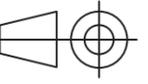
Tolerancias generales para las dimensiones sin indicación en el dibujo		Material		Calidad superficial	
ISO 2768-mK		Ácido Poliáctico (PLA)		Impresión FDM	
Fecha	Nombre	Denominación		Marca	 
Dibujado	22/3/23	Alberto A.A		31	
Escala	Plano	Conjunto		Tamaño	
1:1	11/18	Posicionador de Espalda		A3	

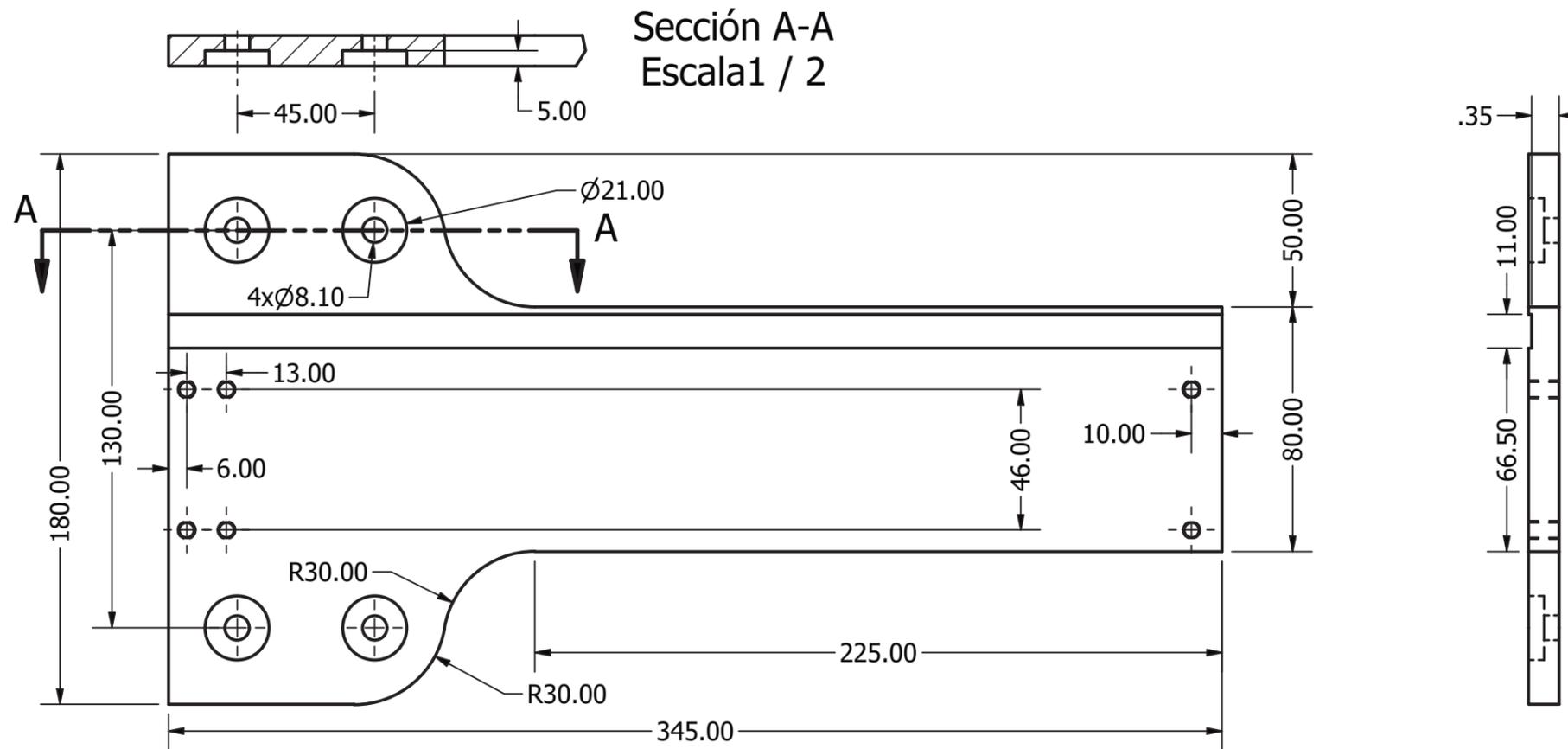




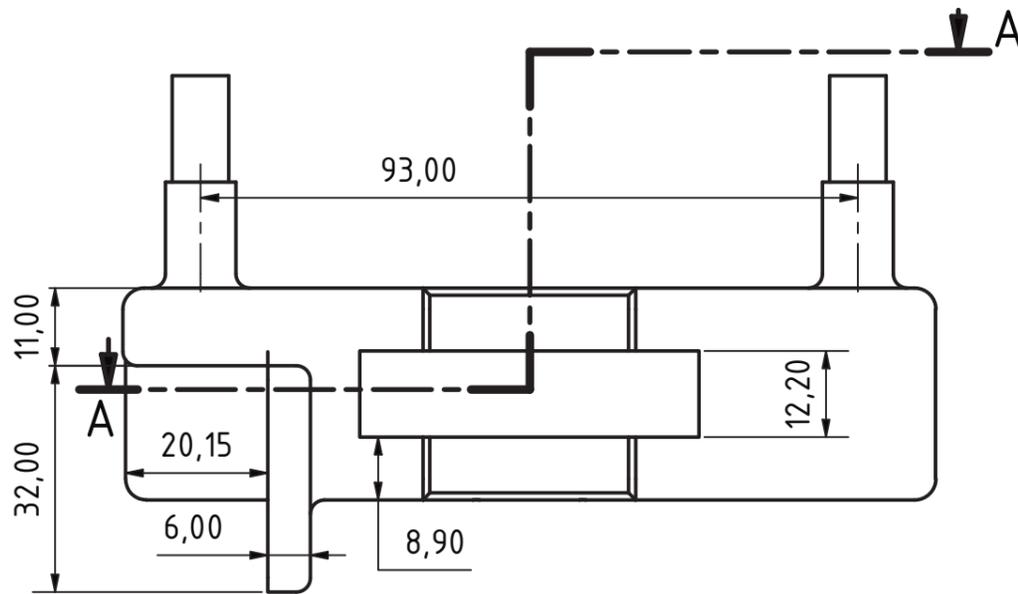
Sección A-A  
Escala 2 : 1



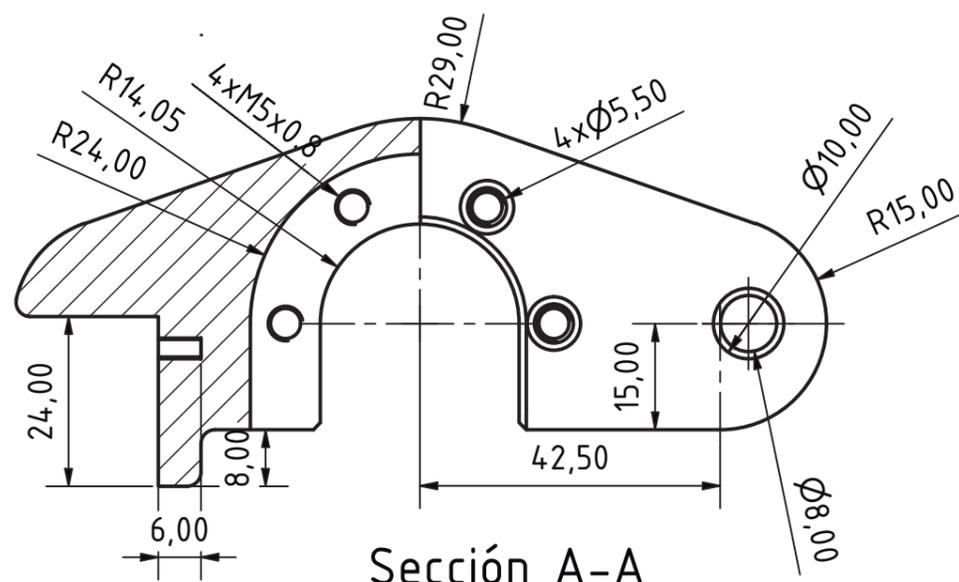
Tolerancias generales para las dimensiones sin indicación en el dibujo		Material		Calidad superficial	
ISO 2768-mK		Ácido Poliáctico (PLA)		Impresión FDM	
Fecha	Nombre	Denominación		Marca	 
Dibujado	22/3/23			Alberto A.A.	
Escala	Plano	Conjunto		Tamaño	
2:1	13/18	Posicionador de Espalda		A3	



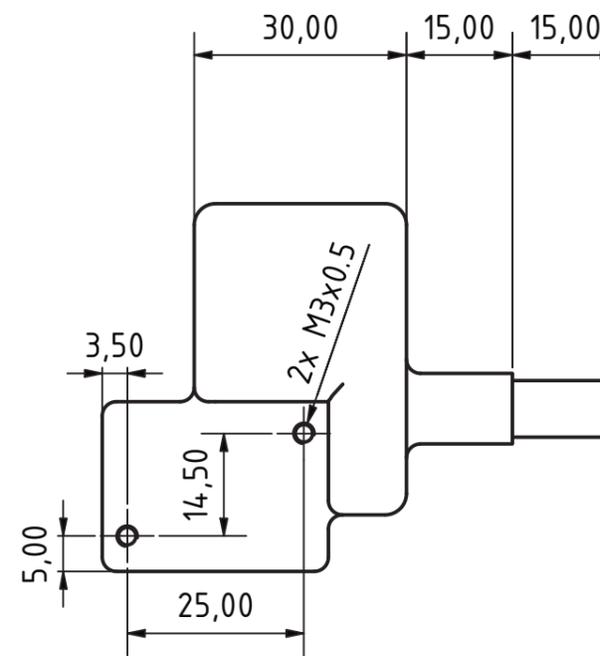
Tolerancias generales para las dimensiones sin indicación en el dibujo <b>ISO 2768-mK</b>			Material Ácido Poliáctico (PLA)		Calidad superficial Impresión FDM 	
Dibujado	Fecha 22/3/23	Nombre Alberto A.A	Denominación <b>Carro Husillos</b>			Marca <b>46</b> 
Escala <b>1:2</b>	Plano <b>14/18</b>		Conjunto <b>Posicionador de Espalda</b>		Tamaño <b>A3</b>	



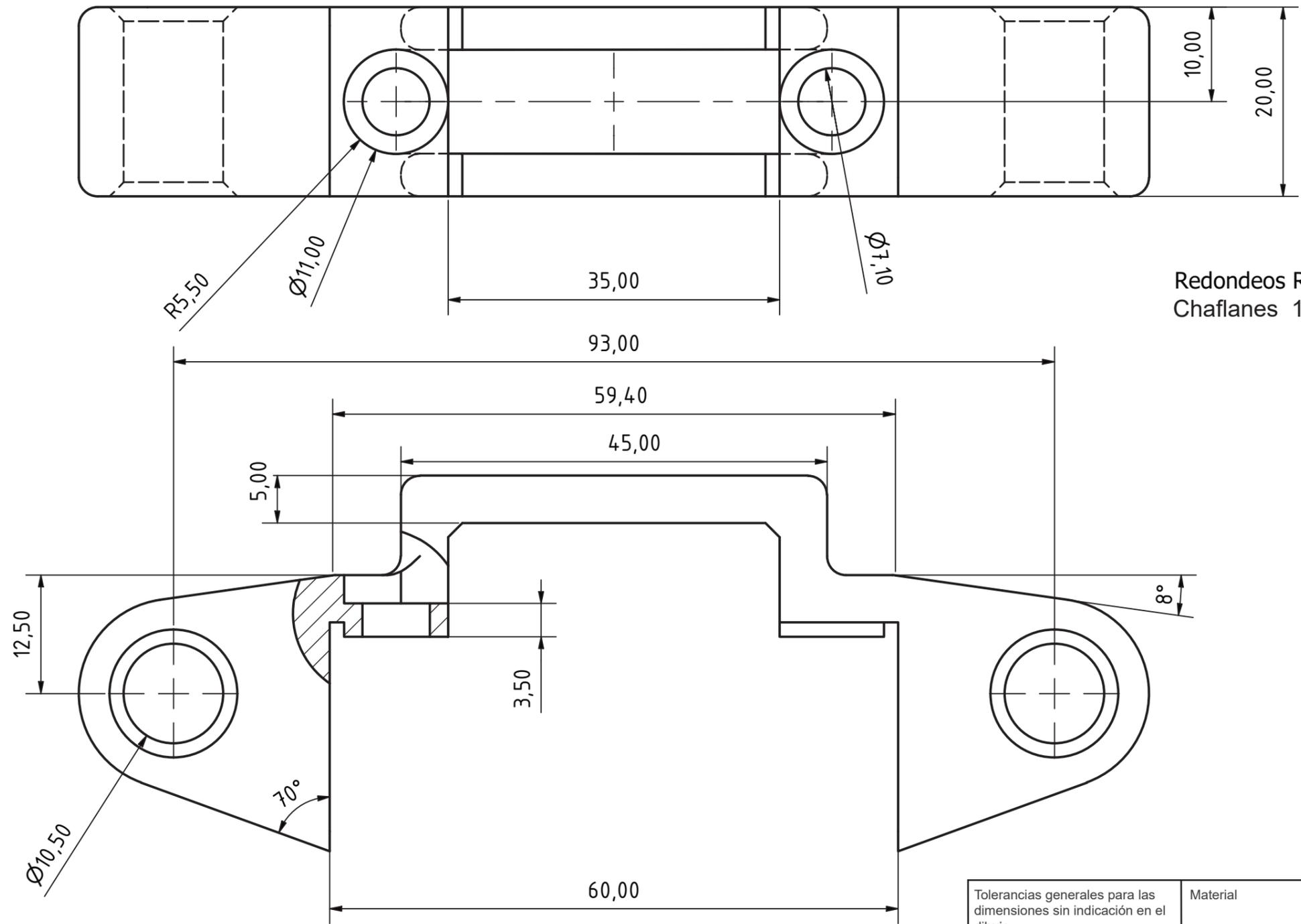
Chaflán 1x1  
Redondeos R3



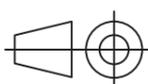
Sección A-A  
Escala 1:1



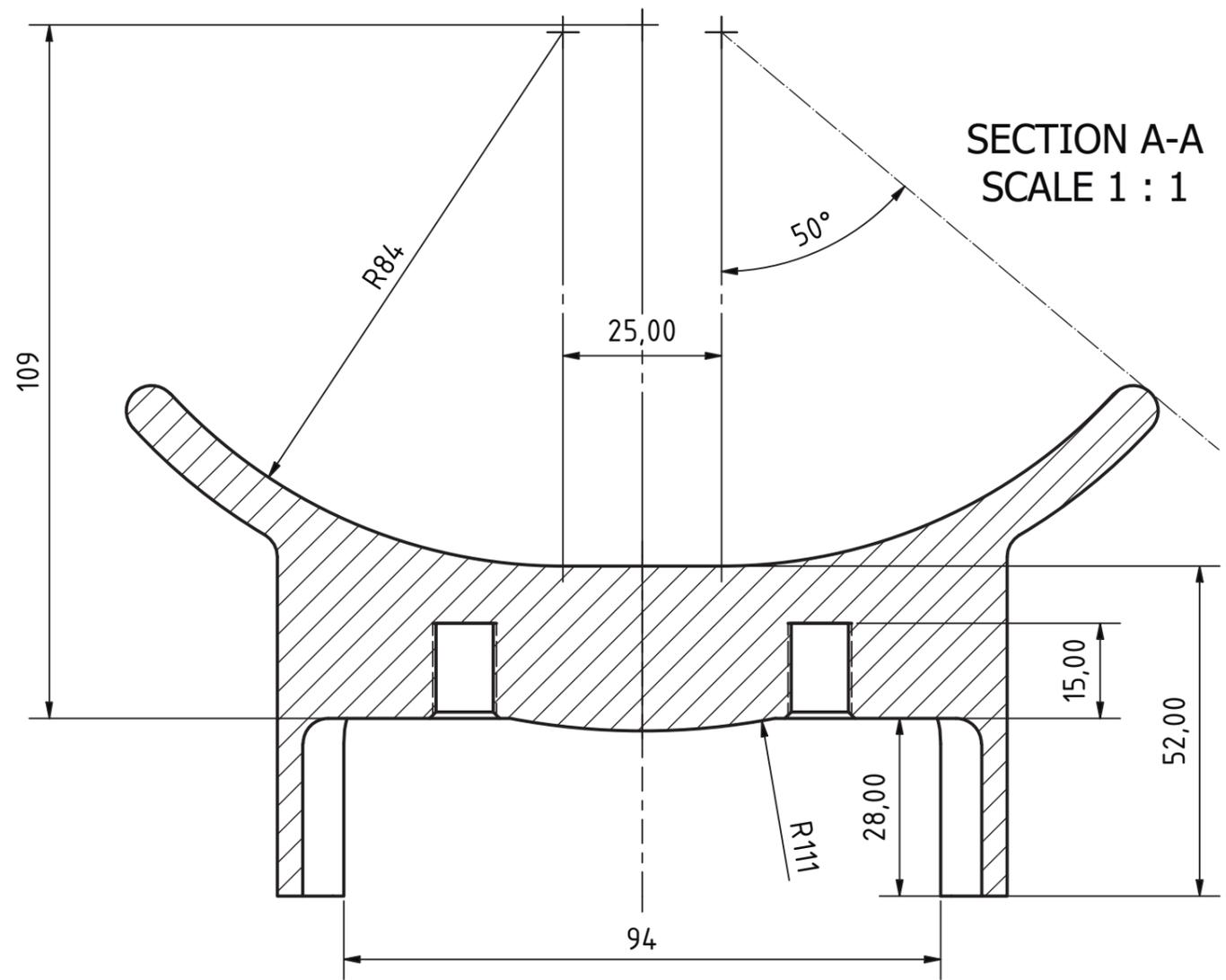
Tolerancias generales para las dimensiones sin indicación en el dibujo <b>ISO 2768-mK</b>			Material Ácido Poliáctico (PLA)		Calidad superficial Impresión FDM 	
Dibujado	Fecha 22/3/23	Nombre Alberto A.A	Denominación <b>Soporte del encoder</b>		Marca <b>47</b>	
Escala <b>1:1</b>	Plano <b>15/18</b>	Conjunto <b>Posicionador de Espalda</b>	Tamaño <b>A3</b>			



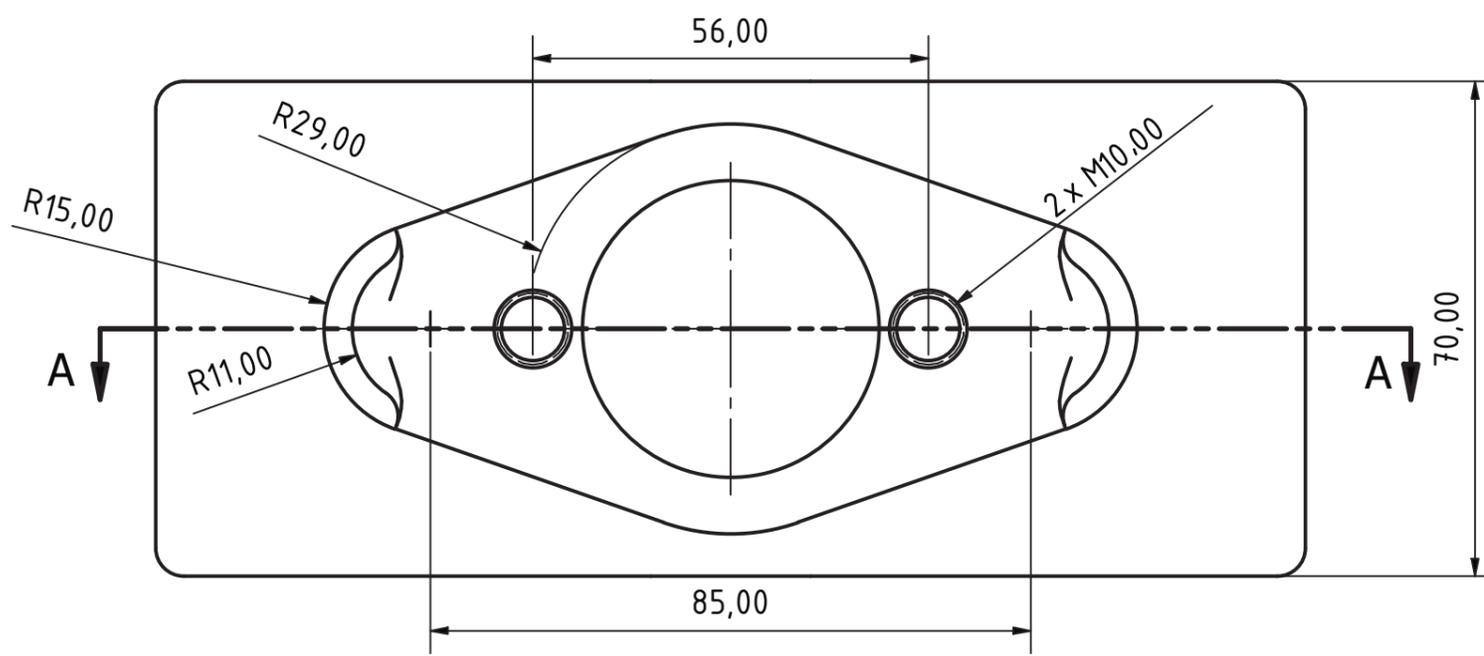
Redondeos R2  
Chaflanes 1x1

Tolerancias generales para las dimensiones sin indicación en el dibujo <b>ISO 2768-mK</b>			Material Ácido Poliáctico (PLA)	Calidad superficial Impresión FDM 	
Dibujado	Fecha 22/3/23	Nombre Alberto A.A	Denominación <b>Soporte de las Guías</b>		Marca <b>48</b>  
Escala <b>2:1</b>	Plano <b>16/18</b>	Conjunto <b>Posicionador de Espalda</b>	Tamaño <b>A3</b>		





Chaflanes 1x1  
Redondeos R4



Tolerancias generales para las dimensiones sin indicación en el dibujo		Material		Calidad superficial	
ISO 2768-mK		Ácido Poliácético (PLA)		Impresión FDM	
Dibujado	Fecha	Nombre	Denominación	Marca	
	22/3/23	Alberto A.A		<b>Pala de contacto</b>	
Escala	Plano	Conjunto		Tamaño	
<b>1:1</b>	<b>18/18</b>	<b>Posicionador de Espalda</b>		<b>A3</b>	

## 6.2 Cálculos de vida de los husillos

Se han realizado varios cálculos para comprobar que el husillo escogido tiene las propiedades necesarias para trabajar con las cargas a las que se va a someter y determinar características a las que tendrán que adaptarse el resto de piezas del sistema.

La carga axial máxima será de 300N, sobre un husillo 16x4, el rendimiento es del 50% y el material de la Tuerca es latón rojo con factor  $PV\ 3\ Nmm^2 * \frac{m}{min}$ .

### -Área de contacto mínima requerida

$$\text{Área}(mm^2) = F\ axial(N)/5(Nmm^2) \quad \text{Área} = 60mm^2$$

El área de la pala de contacto deberá de ser mayor que este valor.

### -Velocidad máxima

$$\begin{aligned} Vmax(m/min) &= Factor\ PV/5(Nmm^2) \\ Vmax &= 60m/min = 1000mm/s \\ Nmax(rev/min) &= (Vmax * 1000)/(16 * \pi) = 1193\ rev/min \end{aligned}$$

Estos datos dejan ver que el husillo va a soportar perfectamente las velocidades resultantes de un accionamiento manual, las cuales no superarán las 120 rev/min.

### -Velocidad máxima

$$\begin{aligned} Vmax(m/min) &= Factor\ PV/5(Nmm^2) \\ Vmax &= 60m/min = 1000mm/s \\ Nmax(rev/min) &= (Vmax * 1000)/(16 * \pi) = 1193\ rev/min \end{aligned}$$

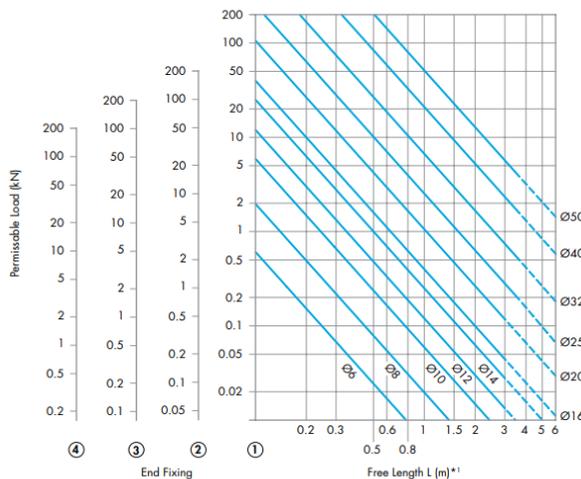
**-Velocidad máxima**

$Cd = \text{Carga dinámica del rodamiento de los apoyos} = 1720N$

$Vida(rev) = (Cd(N)/F(N))^3 * 10^6 = 188461037 rev$

$Vida(horas) = (Vida(rev)/120 rev/min)/60 = 26175 horas$

**-Fuerza de pandeo**



Si se sigue la tabla adyacente, puede verse que la carga máxima a la que se puede someter al husillo para que pandee, en este caso en el que uno de los extremos tiene soporte empotrado y en el otro apoyado, ronda los 35 KN.

Esto implica que el husillo no correrá ningún riesgo durante el proceso de medición.

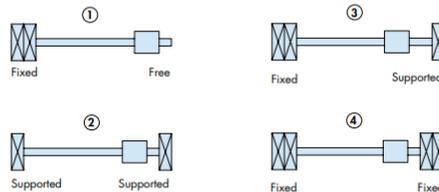


Fig.65 Tabla de fuerzas de pandeo

**-Torque necesario para mover el husillo**

$$M(N/m) = (F axial(N) * paso(mm))/(2000 * \pi * eficiencia)$$

$$M = 0.4N/m$$

Este Par tendrá que ser contrarrestado por el sistema de freno cuando se quiera fijar el sistema en posición.

### -Simulación de Cargas radiales sobre el husillo

Para comprobar que el husillo es resistente a esfuerzos radiales, resultantes de que una persona se apoye inadecuadamente sobre este, se ha estudiado la sección más sensible a estas cargas, que será el cilindro base de la tuerca, de 12mm, con el que se ha realizado el siguiente estudio:

$$I_x = I_y = 1017,88 \text{ mm}^4$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$Lim_{elast} = 320 \text{ MPa}$$

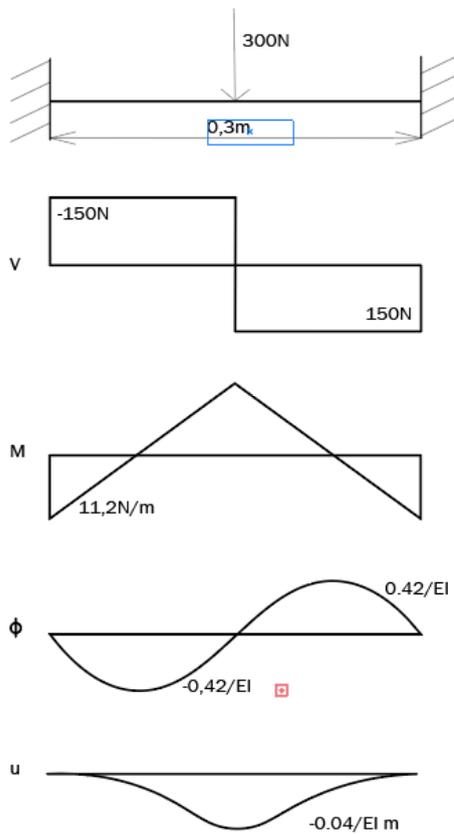


Fig.66 Diagramas tubos guía

Tras haber calculado estos datos integrando, podemos determinar el desplazamiento máximo.

$$EIu = \int EI\Phi dx$$

$$u(0,137) = -0.04/EI$$

En base a los datos recopilados de los perfiles se obtiene que:

$$u(0,137) = \frac{0.04}{2 \cdot 10^{11} \cdot 10,17 \cdot 10^{-10}} = 2 \cdot 10^{-4}$$

$$\sigma_{xx} = \frac{M_{max}}{I} * y = \frac{11200}{1017,88} * 6 = 66 \text{ MP}$$

Este valor es significativamente inferior al límite elástico por lo que se puede asegurar que la rigidez del husillo es adecuada para este caso.

### 6.3 Análisis de esfuerzos en los componentes

-Datos sobre los perfiles utilizados:

- Tubos 10x1

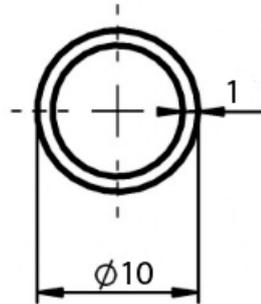


Fig.67 Sección 10x1

Material: Acero bicromatado  
 Modulo de Young: 220 GPa  
 Límite de elasticidad: 350 MPa

Inercia del perfil

$$I_x=I_y = 289.12 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^4$$

- Perfiles fasten 45x90

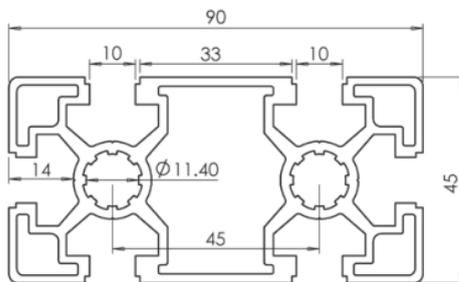


Fig.68 Sección 45x90

Material: Aluminio anodizado  
 Modulo de Young: 70 GPa  
 Límite de elasticidad: 200 MPa

Inercia del perfil

$$I_x = 23,5 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 82,0 \text{ cm}^4$$

**-Cálculos de esfuerzos en guías del cabezal del husillo**

Los dos tubos del husillo están separados 93mm entre sí y tienen una longitud de 275 mm. Para calcular los esfuerzos que produce la fuerza de 300N sobre cada uno se ha hecho el siguiente diagrama.

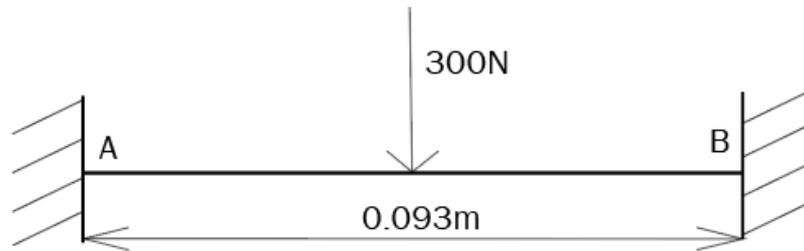
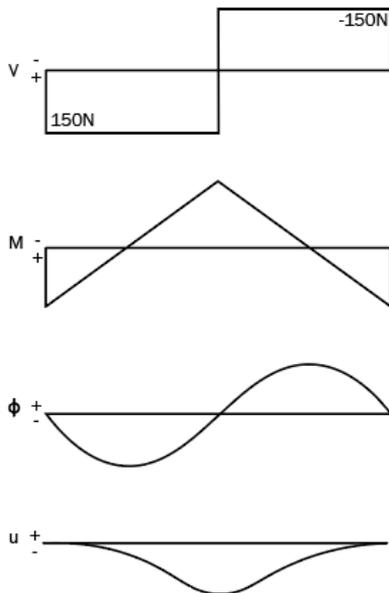


Fig.69 Esquema esfuerzos tubos guía

Las reacciones en A y B serán fácilmente calculables al ser un sistema simétrico por lo que la fuerza en A y en B será igual a **150N**. Con esto se pueden obtener los diagramas de cortantes, momentos, giros y desplazamientos.



Como se ve los giros en el punto medio son 0 por lo que si tenemos en cuenta que:

$$- EI\Phi = \int Mdx$$

$$- EI\Phi(0.046) = \int_0^{0.046} (MA - Vx) dx = 0$$

$$0 = MA * 0.046 - \frac{(150*0.046^2)}{2}$$

$$MA = MB = 3.45N/m$$

Fig.70 Diagramas tubos guía

Con estos datos se ha procedido a hacer una simulación en inventor con el perfil utilizado de donde se obtienen los siguientes resultados:

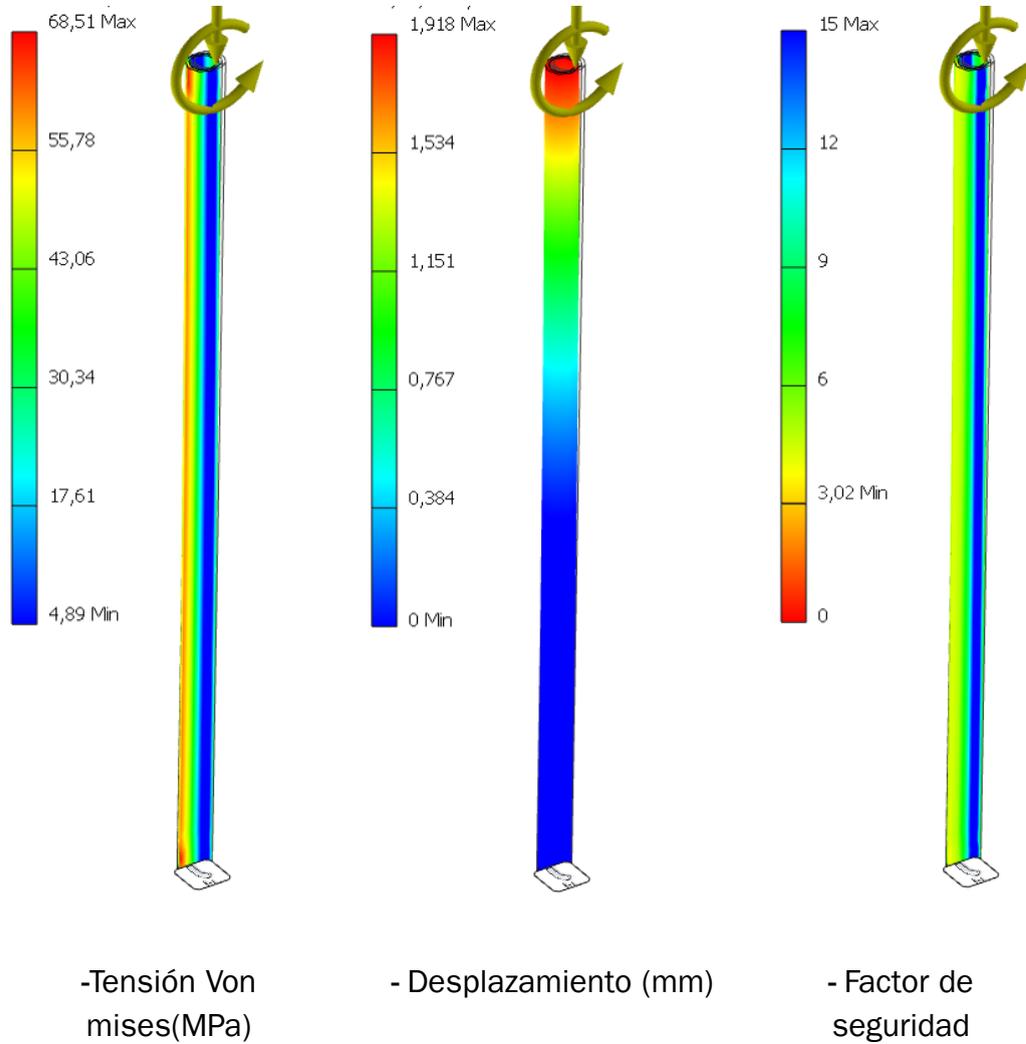


Fig.71 Resultados de análisis

Los resultados obtenidos demuestran que el perfil escogido resiste perfectamente a las cargas máximas a las que estarán sometidas las guías del husillo.

**-Simulación de Cargas radiales sobre las guías del husillo:**

Para comprobar que las guías del husillo son resistentes a esfuerzos radiales resultantes de que una persona se apoye inadecuadamente sobre estos cuando el sistema está contraído, se ha realizado el siguiente estudio:

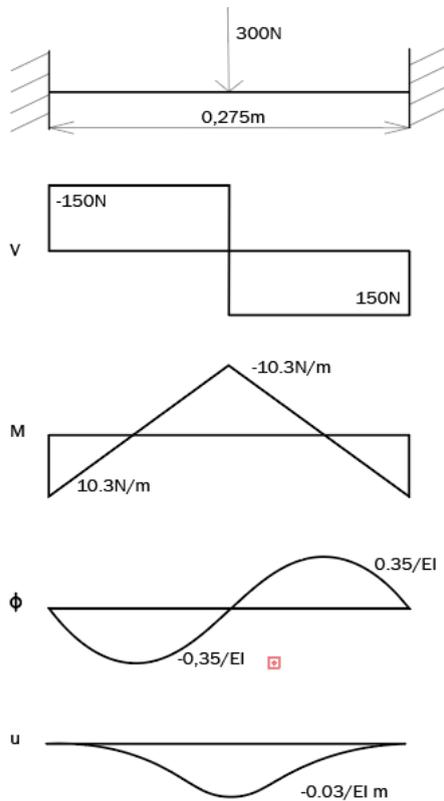


Fig.72 Diagramas cargas radiales tubos guía

Tras haber calculado estos datos integrando, podemos determinar el desplazamiento máximo.

$$EIu = \int EI\Phi dx$$

$$u(0,137) = -0.03/EI$$

En base a los datos recopilados de los perfiles se obtiene que:

$$u(0,137) = \frac{0.03}{2.2 \cdot 10^{11} \cdot 2.89 \cdot 10^{-10}}$$

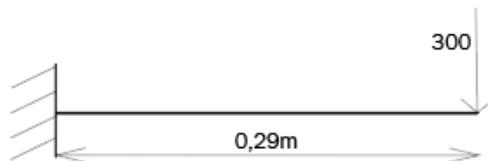
$$u(0,137) = 4.7 \cdot 10^{-4} m$$

$$\sigma_{xx} = \frac{M_{max}}{I} * y = \frac{10300}{2.89 \cdot 10^2} * 5$$

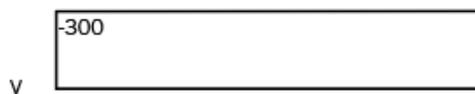
$$\sigma_{xx} = 178 MPa$$

Este valor es significativamente inferior al límite elástico por lo que las guías soportan las cargas en esta situación.

Si por otro lado hacemos el mismo cálculo pero con el husillo completamente extendido, de manera que las guías queden en voladizo, se obtendría el siguiente resultado.



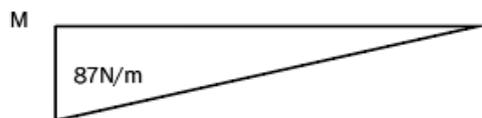
Tras haber calculado estos datos integrando, podemos determinar el desplazamiento máximo.



$$EIu = \int EI\Phi dx$$

$$u(0, 137) = -0.03/EI$$

En base a los datos recopilados de los perfiles se obtiene que



$$u(0, 137) = \frac{2.4}{2.2 \cdot 10^{11} \cdot 2.89 \cdot 10^{-10}}$$

$$u(0, 137) = 0.03m$$



$$\sigma_{xx} = \frac{M_{max}}{I} * y = \frac{87000}{2.89 \cdot 10^2} * 5$$

$$\sigma_{xx} = 1505 MPa$$



Este valor es significativamente superior al límite elástico por lo que las guías deberían tener un perfil de mayor espesor en el modelo final para poder hacerlo más resistente.

Fig.73 Diagramas cargas tubo extendido

**-Cálculo de esfuerzos y momentos resultantes en los husillos verticales**

Los husillos que provee Norelem tienen las siguientes características:

$F_x$	$F_y$	$F_z$
800	500/1000/1500	500/1000/1500
	1000/800/500	550/300/100

$M_x$	$M_y$	$M_z$
60	60	75

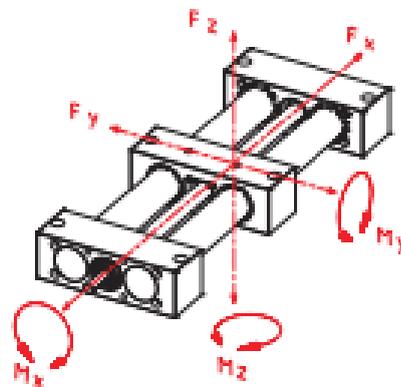


Fig.74 Tablas de características Norelem y ejes considerados

El perfil que sujeta el brazo medidor y conecta el el husillo con la guía vertical es de perfil 45 x 90 y tiene una longitud de 1.40m. en el plano horizontal tendrán que soportar una fuerza de 300 N además del peso de la estructura.

El sistema en el plano YZ se puede representar con el siguiente diagrama:

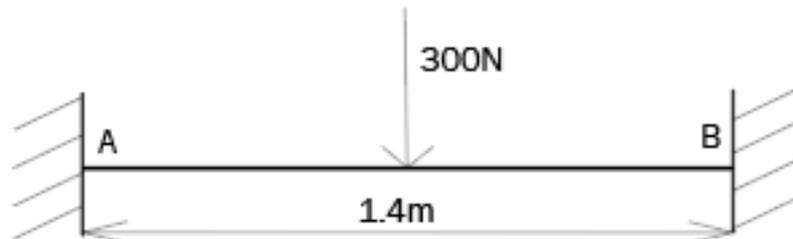


Fig.75 Esquema esfuerzos sobre viga

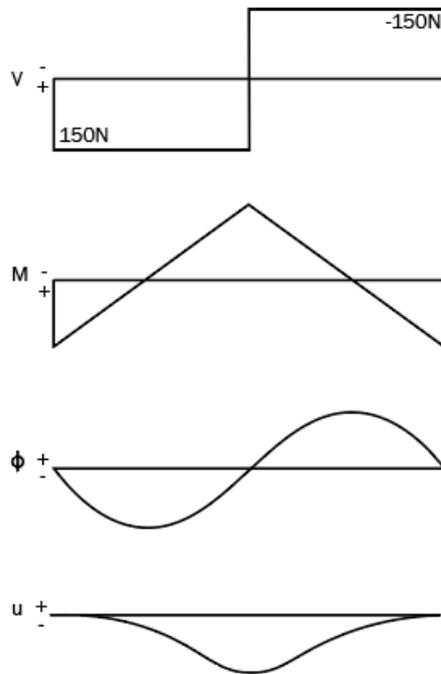


Fig.76 Diagramas viga YZ

Los esfuerzos cortantes en los dos puntos serán iguales a **150N** al tener una disposición simétrica.

Como se ve los giros en el punto medio son 0 por lo que si tenemos en cuenta que:

$$- EI\Phi = \int M dx$$

$$- EI\Phi(0, 7) = \int (MA - Vx) dx = 0$$

$$0 = MA * 0,7 - \frac{(150*0,7^2)}{2}$$

$$MA = MB = \mathbf{52.5N/m}$$

En el plano XZ de la misma barra habrá que tener en cuenta el propio peso del husillo y el perfil, que es igual a 60 N. En este caso el diagrama realizado sigue siendo un sistema biempotrado, aplicando la fuerza en el punto medio.

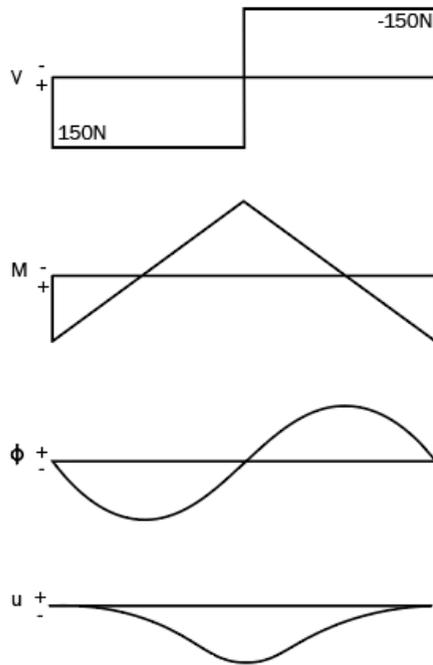


Fig.77 Diagramas viga XZ

Los esfuerzos cortantes en los dos puntos serán iguales a **25N** al tener una disposición simétrica.

Como se explica en los cálculos anteriores los giros en el punto medio son 0 por lo que si tenemos en cuenta que:

$$- EI\Phi = \int Mdx$$

$$- EI\Phi(0,7) = \int (MA - Vx)dx = 0$$

$$0 = MA * 0,7 - \frac{(25*0,7^2)}{2}$$

$$MA = MB = \mathbf{10.5 \text{ N/m}}$$

Con estos datos se puede coger el momento máximo generado en la barra para determinar  $\sigma_{xx}$

$$\sigma_{xx} = \frac{M_{max}}{I} * y = \frac{53500}{23.5*10^4} * 45 = 10.2 \text{ MPa}$$

Este valor es significativamente inferior al límite elástico del aluminio por lo que la resistencia de este tipo de perfiles es correcta para esta aplicación.

**-Cálculo de la resistencia de la base del husillo**

La base del husillo tiene una larga sección en voladizo fabricada en PLA con las siguientes características:

Sección:

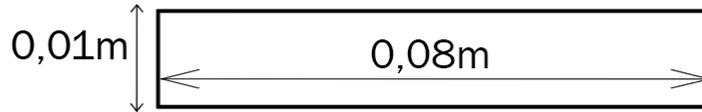
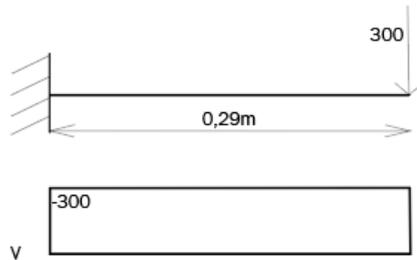


Fig.78 Sección estudiada de la base

$$I_x = 6666 \text{ mm}^4 \quad E = 3.3 \text{ GPa} \quad L_{\text{elasticidad}} = 60 \text{ MPa}$$

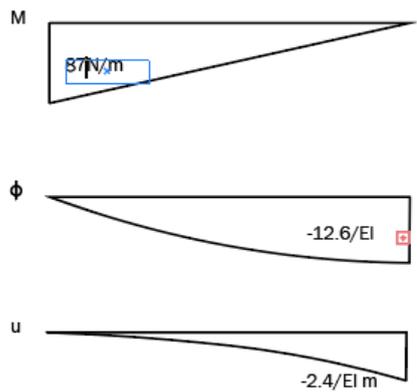
Tras haber calculado estos datos integrando, podemos determinar el desplazamiento máximo.



$$EIu = \int EI\Phi dx$$

$$u(0, 137) = - 2.4/EI$$

En base a los datos recopilados de los perfiles se obtiene que:



$$u(0, 137) = \frac{2.4}{3.3 \cdot 10^9 \cdot 6.6 \cdot 10^{-9}} = 0.1 \text{ m}$$

$$\sigma_{xx} = \frac{M_{max}}{I} * y = \frac{87000}{6666} * 5$$

$$\sigma_{xx} = 65 \text{ MPa}$$

Esto nos hace ver que para que el modelo final fuera más robusto y pudiera aguantar este nivel de cargas se necesitaría fabricar el modelo final de la base en un material con un mayor límite elástico, como el aluminio.

Fig.79 Diagramas tubos guía

## 6.4 Ficha técnica de los sensores

### -Célula de carga CMamp

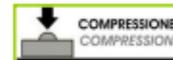
Data Sheet: CMAMP.R10 Trasduttore di forza Amplificato  
[www.aep.it](http://www.aep.it) **CMAMP** Amplified force transducer



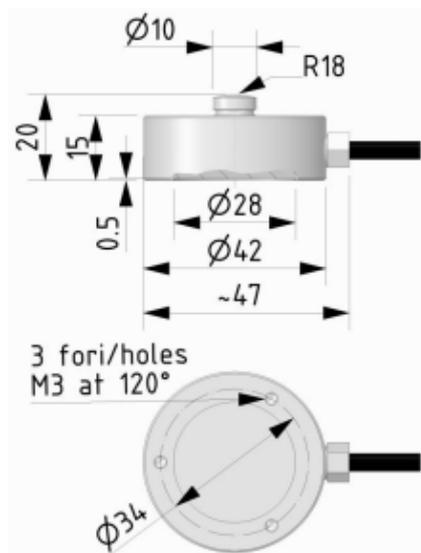
**Accessori Accessories**



Testa di carico  
Loading head  
CTICCM42



**Dimensioni Dimensions** [mm]

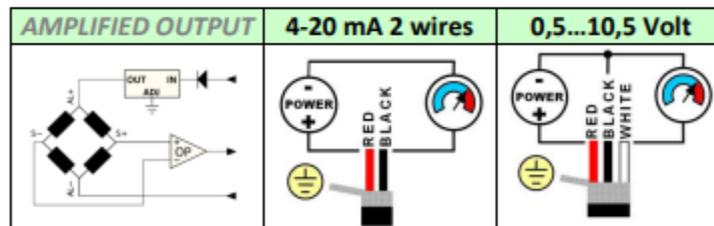


CARICO NOMINALE NOMINAL LOAD	CODICE CODE
50 kg	CCMA4250K3
100 kg	CCMA42100K3
250 kg	CCMA42250K3
500 kg	CCMA42500K3
1000 kg	CCMA421T3
2500 kg	CCMA422T53
3500 kg	CCMA423T53
5000 kg	CCMA425T3

Dati Tecnici		Technical Data	
CARICO NOMINALE	NOMINAL LOAD	50 - 100 - 250 - 500 kg 1000 - 2500 - 3500 - 5000 kg	<b>i</b>
LINEARITA' ISTERESI RIPETIBILITA'	LINEARITY HYSTERESIS REPEATABILITY	≤ ± 0.20 % F.S. ≤ ± 0.20 % F.S. ≤ ± 0.05 % F.S.	
SENSIBILITA' NOMINALE TOLLERANZA DI CALIBRAZIONE	NOMINAL SENSITIVITY SENSIVITY TOLERANCE	4-20 mA (2 wires) or 0,5...10,5 V ≤ ± 0.1%	
ALIMENTAZIONE NOMINALE	NOMINAL POWER SUPPLY	10 V • 15-24 Vdc 4-20 mA • 18-24 Vdc	
ALIMENTAZIONE MAX. ASSORBIMENTO MAX. (senza carico applicato): RESISTENZA DI CARICO: a) tensione b) corrente RESISTENZA DI ISOLAMENTO BILANCIAMENTO DI ZERO FREQUENZA DI RISPOSTA	MAX. POWER SUPPLY MAX. ABSORPTION (without load applied) LOADING RESISTANCE: a) tension b) current INSULATION RESISTANCE ZERO BALANCE RESPONSE FREQUENCY	28Vdc 30mA min. 3KΩ from 0 to 470KΩ >2 GΩ ± 1% ~ 1 kHz	
TEMPERATURA DI RIFERIMENTO CAMPO NOMINALE DI TEMPERATURA CAMPO TEMPERATURE DI ESERCIZIO TEMPERATURA DI STOCCAGGIO	REFERENCE TEMPERATURE TEMPERATURE NOMINAL RANGE SERVICE TEMPERATURE STORAGE TEMPERATURE	+23 °C -10 / +40 °C -20 / +70 °C -20 / +80 °C	
EFFETTO TEMPERATURA (10 °C): a) sullo zero b) sulla sensibilità	TEMPERATURE EFFECT (10 °C): a) on zero b) on sensitivity	≤ ± 0.030 % F.S. ≤ ± 0.025 % F.S.	
VALORI MECCANICI LIMITE: a) carico di servizio b) carico limite c) carico di rottura d) massimo carico trasversale e) carico dinamico limite FRECCIA MASSIMA AL CARICO NOMINALE	MECHANICAL LIMIT VALUES: a) service load b) max permissible load c) breaking load d) max transverse load e) max permissible dynamic load DISPLACEMENT AT NOMINAL LOAD	120 % F.S. 150 % F.S. >300 % F.S. 50 % F.S. 50 % F.S. ~ 0.2 mm	
PESO CLASSE DI PROTEZIONE (EN 60529) MATERIALE DINAMOMETRO LUNGHEZZA CAVO	WEIGHT PROTECTION CLASS (EN 60529) EXECUTION MATERIAL CABLE LENGTH	~ 0.20 kg IP67 Acciaio inox / Stainless Steel 3 m	

A richiesta calibrazioni in N / N calibrations on request.

### Collegamenti Elettrici Electrical Connections



Cavo schermato PVC 70°C, Ø 4.2mm a 4 conduttori Ø 0.14mm<sup>2</sup> stagnati. Schermo collegato al corpo del trasduttore.  
PVC 70°C shielded cable, Ø 4.2mm with 4 tinned Ø 0.14mm<sup>2</sup> conductors. Shield connected to the body of the transducer.



**ATTENZIONE:** Proteggere il positivo dell'alimentazione con un fusibile esterno rapido da 100 o 200mA  
**WARNING:** Protect POWER+ by using an external 100 to 200mA fast-blow fuse



**AEP transducers**

Dasa-Rägister  
EN ISO 9001:2015  
IQ-1300-01

ACCREDIA  
LAT N° 093  
Calibration Centre  
The products are NOT covered by accreditation

ATEX Ex  
Production Quality Assurance Certified n°  
TÜV CY 17 ATEX 0205891 Q

41126 Cognento (MODENA) Italy Via Bottego 33/A Tel: +39-(0)59-346441 Fax: +39-(0)59-346437 E-mail: aep@aep.it

Al fine di migliorare le prestazioni tecniche del prodotto, la società si riserva di apportare variazioni senza preavviso.  
In order to improve the technical performances of the product, the company reserves the right to make any change without notice.

## -Encoder magnético LM15



### Technical specifications

#### System data

<b>Pole length</b>	5 mm
<b>Maximum measuring length</b>	50 m (up to 150 m per request)
<b>System accuracy</b>	±100 µm/m Refer to MSD01 available at <a href="#">RLS Media center</a> .
<b>Hysteresis</b>	< 12.5 µm up to 1 mm ride height
<b>Repeatability</b>	< 2.5 µm at 25°C (up to 3 mm ride height)
<b>Reference mark</b>	Unique / Periodic / DCRM (Information about distance coded ref. mark can be found in the MSD01 at <a href="#">RLS Media center</a> .)
<b>Resolution</b>	Max. 13 bit (-0.61 µm) For details refer to the <a href="#">Table of available resolutions</a> .
<b>Maximum speed</b>	Refer to MSD01 available at <a href="#">RLS Media center</a> .

#### Electrical data

For electrical data see specific output type on pages 12 to 15.

#### Mechanical data

<b>Mass</b>	23 g
<b>Material</b>	Die-cast, Zamak-5

#### Environmental data

<b>Temperature</b>	Operating	-10 °C to +80 °C (-20 °C to +85 °C if cable under non-dynamic conditions)
	Storage	-40 °C to +85 °C
<b>Environmental sealing</b>		IP68 (according to IEC 60529)*
<b>EMC Immunity</b>		IEC 61000-6-2
<b>EMC Emission</b>		IEC 61000-6-4
<b>Vibrations (55 Hz to 2000 Hz)</b>		300 m/s <sup>2</sup> (IEC 60068-2-6)
<b>Shocks (6 ms)</b>		300 m/s <sup>2</sup> (IEC 60068-2-27)
<b>External magnetic field during operation</b>		1 mT

\* Limited by the connector.

A **RENISHAW** associate company

DATA SHEET  
LM15D01\_06

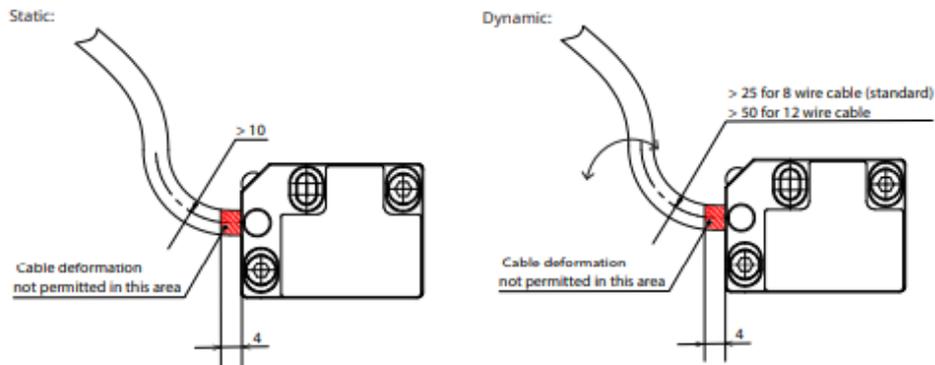
Cable

Type	PUR high flexible cable, drag-chain compatible, double-shielded	
Number of wires	8	12**
Outer diameter	4.2 mm ±0.2 mm	4.5 mm ±0.2 mm
Jacket material	Extruded polyurethane (PUR)	
White wire	0.14 mm <sup>2</sup> , 26 AWG, 0.13 Ω/m	0.08 mm <sup>2</sup> , 28 AWG, 0.23 Ω/m
Other wires	0.05 mm <sup>2</sup> , 30 AWG, 0.35 Ω/m	
Durability	20 million cycles at 25 mm bend radius	20 million cycles at 50 mm bend radius
Weight	34 g/m nominal	38 g/m nominal
Bend radius (internal radius)	Dynamic: 25 mm, static: 10 mm	Dynamic: 50 mm, static: 10 mm
Dynamic torsion	Not allowed*	

\* Cable is not torsion specified. A continuous torsion of the cable in a dynamic application could result in malfunctioning of the encoder system.

\*\* Applied only for option with additional alarm output (for IA, IC; not available for PRG option).

Cable installation



Cable tolerances

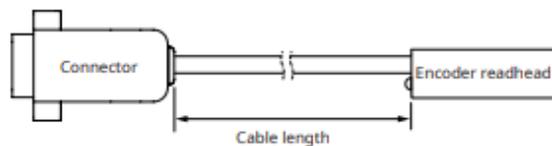
LM15 with cable

Cable length* [m]	Tolerance [mm]
≤ 5	+50/-20
> 5 ≤ 10	+70/-30
> 10 ≤ 30	+100/-40

LM15 with cable with stainless-steel protection tube

Cable length* [m]	Tolerance [mm]
≤ 5	+70/-30
> 5 ≤ 10	+100/-40

\* Cable length without connector. See image below.



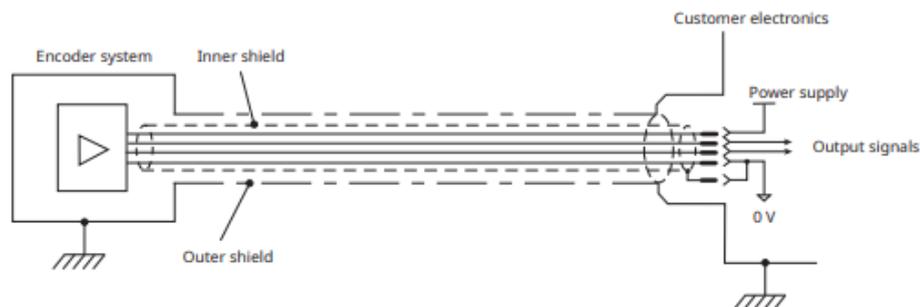
## Electrical connections

Function	Signal	Colour (option F)	9 pin D type plug (option A)	15 pin D type plug (option D)	15 pin HD type plug (option H)	15 pin D type plug (option L)	9 pin D type plug (option P)	7 pin DIN EN60130-9 plug (option U)
Power	Vdd	Brown	5	7	7	4	5	5
	GND	White	9	2	2	12	1	1
Incremental / analogue signals	A / V <sub>s</sub>	Green	4	14	14	9	2	3
	A- / V <sub>s-</sub>	Yellow	8	6	6	1	6	-
	B / V <sub>s</sub>	Blue	3	13	13	10	4	4
Reference signals	B- / V <sub>s-</sub>	Red	7	5	5	2	8	-
	Z / V <sub>s</sub>	Pink	2	12	12	3	3	6
Alarm*	Z- / V <sub>s-</sub>	Grey	6	4	4	11	7	-
	E	Violet	-	11	11	-	-	-
Shield	E-	Black	-	3	3	-	-	-
	Inner	-	1	15	15	15	9	-
	Outer	-	Case	Case	Case	Case	Case	Case

\* For alarm output "07" option must be ordered.

## Shield connection

Figure below shows a recommended shield termination in order to ensure electromagnetic compatibility.



Housing of the encoder is galvanically connected with the housing of the connector via the cable outer shield. The encoder system must be correctly integrated to achieve EMC compliance. In particular, attention to shielding arrangements is essential.

DATA SHEET  
LM15D01\_06

## Response time

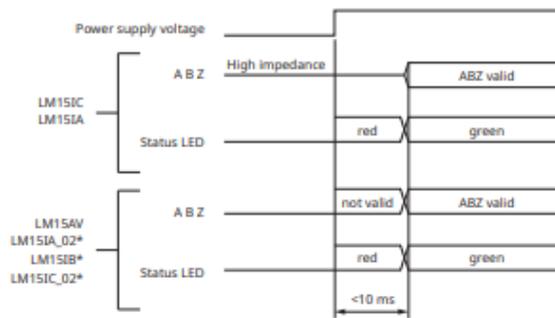
	LM15AV	LM15IB	LM15IC_02*	LM15IA_02*	LM15IA	LM15IC
<b>Set-up time</b>	10 ms	10 ms	10 ms	10 ms	10 ms	10 ms
<b>Interpolation conversion time</b>	—	< 250 ns	< 250 ns	< 250 ns	< 250 ns	< 250 ns
<b>Transition time</b>	< 10 $\mu$ s	< 100 ms	< 100 ms			

\* Shortened reaction time option.

**Set-up time** is the time needed for the encoder readhead to start reading the position information after power-on (see diagram 1).  
**Interpolation conversion time** is the time needed for the encoder readhead to convert the position information into an output signal.

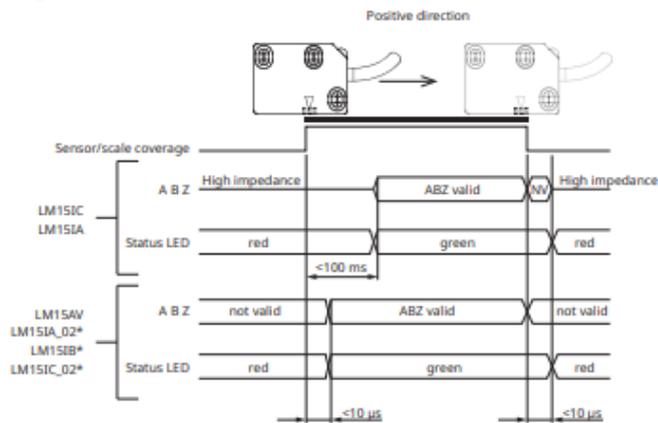
**Transition time** is the time it takes the encoder readhead to switch from an alarm state to a valid output signal (see diagram 2).

Diagram 1: Set-up time



\*In alarm state LED flashes red/green.

Diagram 2: Transition time





## Status indicator LED

After installation of the magnetic scale (refer to MSD01 data sheet at [RLS Media center](#)), the readhead can be easily adjusted on the machine using the set-up LED indicator.

LED Signal	Status	Error output (special option 07)			
		IC (E)	IC (E-)	IA (E)	IA (E-)
<b>Green</b>	Good signal strength/set-up	$U_i \leq 0.5 \text{ V}$	$U_{ii} \geq 2.5 \text{ V}$	$U_l \leq 1.15 \text{ V}$	$U_{li} \geq 3.45 \text{ V}$
<b>Red</b>	Poor signal strength. Possible reasons: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incorrect readhead orientation.</li> <li>• Readhead installation out of tolerance.</li> <li>• Demagnetisation of measuring scale.</li> <li>• Insufficient power supply voltage.</li> </ul>	$U_{ii} \geq 2.5 \text{ V}$	$U_l \leq 0.5 \text{ V}$	$U_{li} \geq 3.45 \text{ V}$	$U_l \leq 1.15 \text{ V}$
<b>Red/green flashing</b>	IB, IC_02, IA_02: poor signal strength Poor signal strength. Possible reasons: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incorrect readhead orientation.</li> <li>• Readhead installation out of tolerance.</li> <li>• Demagnetisation of measuring scale.</li> <li>• Insufficient power supply voltage.</li> </ul>	Not applicable.			

The LED signal functions listed in the table above do not indicate non-optimal installation of the readhead, such as accuracy outside the specified range or improper operation of the reference mark.

## Positive direction

**Digital output signals** - A leads B (magnetic scale is stationary)

**Analogue output signals (1  $V_{pp}$ )** -  $V_1$  leads  $V_2$



For more information, see the MSD01 data sheet at [RLS Media center](#).

DATA SHEET  
LM15D01\_06

## Output type

### Analogue output signals (1 V<sub>pp</sub>)

LM15AV

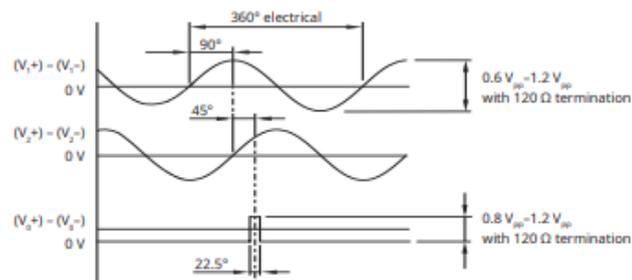
#### Specifications

<b>Power supply*</b> (voltage on readhead)	4.7 V to 7 V Reverse polarity protection	
<b>Current consumption</b>	< 50 mA (without load)	
<b>Voltage drop over cable**</b>	~24 mV/m (without load)	
<b>Output signals</b>	V <sub>1</sub> , V <sub>2</sub> , V <sub>0</sub>	
<b>Sinusoidal period length</b>	5 mm	
<b>Sine / cosine signals</b>	Amplitude (with 120 Ω termination)	0.6 V <sub>pp</sub> to 1.2 V <sub>pp</sub>
	Phase shift	90° ± 0.5°
<b>Reference signal</b>	Amplitude (with 120 Ω termination)	0.8 V <sub>pp</sub> to 1.2 V <sub>pp</sub>
	Position	45°
	Width	22.5°
<b>Termination</b>	Z <sub>0</sub> = 120 Ω between associated outputs	
<b>Maximum cable length*</b>	30 m	

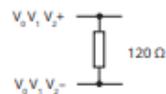
\* Please consider voltage drop over cable.

\*\* At added termination expect higher current consumption, which will result in a higher voltage drop over cable.

#### Timing diagram



#### Recommended signal termination



DATA SHEET  
LM15D01\_06

## Part numbering

LM15	IC	D20	C	A	10	F	00
<b>Output type</b>							
AV - Analogue voltage 1 V <sub>pp</sub>							
IA - Incremental Push-Pull outputs							
IB - Incremental, Open Collector NPN							
IC - Incremental, RS422							
<b>Interpolation factor</b>							
AV:							
000 - N/A							
IA, IB and IC:							
13B - 8192 (~0.61 μm)	09B - 512 (~9.765 μm)	D10 - 100 (50 μm)					
12B - 4096 (~1.22 μm)	D50 - 500 (10 μm)	D08 - 80 (62.5 μm)					
11B - 2048 (~2.441 μm)	D40 - 400 (12.5 μm)	06B - 64 (78.125 μm)					
2D0 - 2000 (2.5 μm)	D32 - 320 (15.625 μm)	D04 - 40 (125 μm)					
1D6 - 1600 (3.125 μm)	08B - 256 (~19.531 μm)	05B - 32 (156.25 μm)					
10B - 1024 (~4.882 μm)	D20 - 200 (25 μm)	04B - 16 (312.5 μm)					
1D0 - 1000 (5 μm)	D16 - 160 (31.25 μm)	03B - 8 (625 μm)					
D80 - 800 (6.25 μm)	07B - 128 (39.0625 μm)						
PRG - Programmable (preset to 5 μm) (for IC only)							
<b>Minimum edge separation</b>							
IA, IB and IC:							
K - 0.07 μs (15 MHz)	E - 4 μs (0.25 MHz)	AV:					
A - 0.12 μs (8 MHz)	F - 5 μs (0.2 MHz)	A - N/A					
B - 0.5 μs (2 MHz)	G - 10 μs (0.1 MHz)	The customer's controller must support the selected edge separation time even if the encoder is used below the maximum speed.					
C - 1 μs (1 MHz)	H - 20 μs (0.05 MHz)						
D - 2 μs (0.5 MHz)							
<b>Reference mark sensor</b>							
A - With reference mark sensor							
Magnetic scale must be ordered with reference mark. If required, the cover foil can be installed over the reference mark.							
B - Without reference mark sensor							
C - Without reference mark sensor but with periodic reference impulse as per scale pitch (every 5 mm)							
Reference periods correspond to pole length of magnetisation. Magnetic scale must be ordered with no reference mark.							
<b>Cable length</b>							
10 - 1.0 m (standard)							
(e.g. 13 - 1.3 m cable or 13 - 13 m cable if special option 0M is chosen)							
<b>Connector</b>							
A - 9 pin D type plug	H - 15 pin HD type plug						
D - 15 pin D type plug	L - 15 pin D type plug						
F - Flying lead, no connector	P - 9 pin D type plug						
	U - 7 pin DIN EN60130-9 plug						
<b>Special requirements</b>							
00 - No special requirements (standard)	40 - Protective stainless-steel tube for cable						
02 - Shortened reaction time	0M - Cable length in meters						
07 - Additional alarm output	M2 - Shortened reaction time and cable in meters						
10 - Not potted, protected to IP50	4M - Protective stainless-steel tube and cable in meters						
19 - Stainless steel housing							

Not all part number combinations are valid. Please refer to the table of available combinations on the next page for available options.

**Table of available combinations**

Series	Output type	Interpolation factor	Minimum edge separation	Reference mark	Cable length	Connector	Special requirements	
LM15	IC	PRG**	A	A / B / C	10***	A** / D / H / F / U**	00 / 07 / 10 / 19 / 40 / 0M / 4M	
		xxx*	K / A / B / C / D / E / F / G / H				B / C	00 / 02 / 07 / 10 / 19 / 40 / 0M / M2 / 4M
		04B	A / B / C / D / E / F / G / H	B / C				
		03B	B / C / D / E / F / G / H				B / C	
	IA	xxx*	K / A / B / C / D / E / F / G / H	A / B / C		A / F / U		00 / 10 / 19 / 40 / 0M / 4M
		04B	A / B / C / D / E / F / G / H	B / C				
		03B	B / C / D / E / F / G / H				B / C	
	IB	xxx*	K / A / B / C / D / E / F / G / H	A / B / C		A / L / P / F		00 / 10 / 19 / 40 / 0M / 4M
		04B	A / B / C / D / E / F / G / H	B / C				
		03B	B / C / D / E / F / G / H				B / C	
	AV	000	A	A / B / C				

\* See chapter **Available resolutions** for available interpolation factors.

\*\* Not available with special option 07.

\*\*\* See the Output Type section for the max cable length for each output type.

For the part numbering of the MS incremental magnetic scale, refer to the MSD01 data sheet at [RLS Media center](#).



DATA SHEET  
LM15D01\_06

## Available resolutions

Table of available resolutions

Part number	Pole length [mm]	Interpolation factor	Resolution [ $\mu\text{m}$ ]
13B		$2^{13}$	~0.6
12B		$2^{12}$	~1.22
11B		$2^{11}$	~2.441
2D0		2000	2.5
1D6		1600	3.125
10B		$2^{10}$	~4.882
1D0		1000	5
D80		800	6.25
09B		$2^9$	~9.765
D50		500	10
D40		400	12.5
D32	5	320	15.625
08B		$2^8$	~19.531
D20		200	25
D16		160	31.25
07B		$2^7$	39.0625
D10		100	50
D08		80	62.5
06B		$2^6$	78.125
D04		40	125
05B		$2^5$	156.25
04B		$2^4$	312.5
03B		$2^3$	625

Resolutions calculation

$$\text{Resolution } [\mu\text{m}] = \frac{\text{Pole length } [\mu\text{m}]}{\text{Interpolation factor}} = \frac{5000}{\text{Interpolation factor}}$$

-Guía lineal Norelem 21250 Ø30

21250 Unidades lineales de doble tubo



Descripción del artículo/Imágenes del producto



**Descripción**

**Material:**  
 Carcasa de aluminio.  
 Tubo de precisión de acero inoxidable níquelado.  
 Husillo roscado trapecoidal de acero.

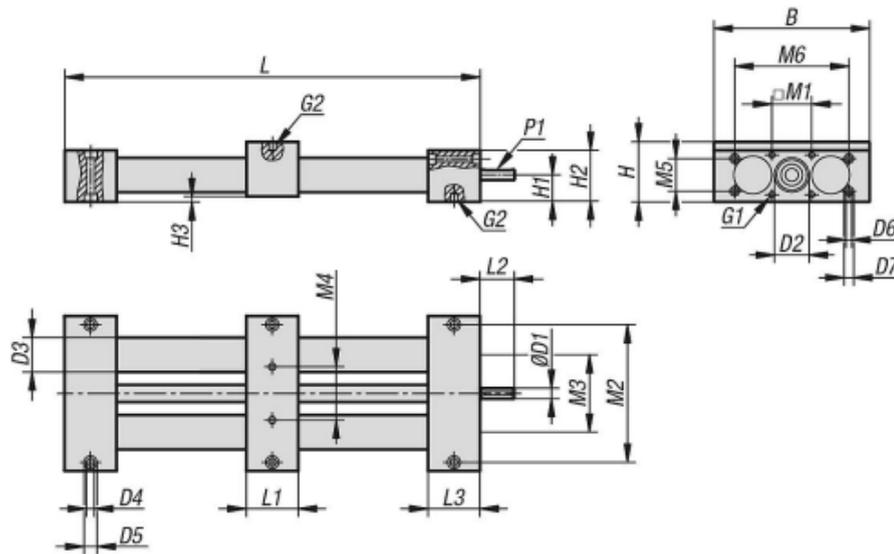
**Indicación:**  
 Las unidades lineales de doble tubo se pueden accionar manual o eléctricamente. Debido a la duración de conexión reducida las unidades se pueden ajustar varias veces al día con velocidad baja y con una alta estabilidad. Posibilidad de ajuste de la anchura, de la longitud y de la altura.

**Datos técnicos:**  
 Tiempo de funcionamiento: S3, 30 % (en 60 min.)

**Rango de temperatura:**  
 Rango de temperatura 0 °C a +60 °C

**A petición:**  
 Otras longitudes.

Planos



## Indicación técnica para unidades lineales de doble tubo

La unidad lineal de doble tubo es práctica, económica y de uso universal. La combinación de buena rigidez, escasa flexión, alta capacidad de carga y manejo sencillo hacen de la unidad lineal un producto excelente. Para las distintas situaciones de uso y cargas hay dos tamaños disponibles (diámetro de tubo guía de 30 mm a 40 mm).

### Características:

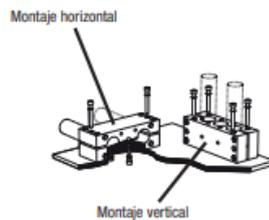
- Se puede ajustar manualmente o con un motor.
- Posible precisión de posición hasta  $\pm 0,1$  mm en 300 mm.
- Velocidad de desplazamiento hasta 0,015 m/s.
- Accionamiento para husillo roscado trapezoidal.
- Posición de montaje opcional.

### Descripción técnica:

Un husillo roscado con tuerca guía, colocado entre los tubos guía, transmite el movimiento de rotación a los carros guía.

### Fijación de la unidad lineal:

Dependiendo de la posición de montaje y de la aplicación, la unidad lineal se puede fijar con tornillos a una base adecuada. La unidad lineal puede estar montada en horizontal y en vertical. Durante el montaje deberían tenerse en cuenta los pares de apriete específicos de los tornillos utilizados.



Medida	Estabilidad 8.8 Par de apriete $M_s$ (Nm)	Estabilidad 10.9 Par de apriete $M_s$ (Nm)	Estabilidad 12.9 Par de apriete $M_s$ (Nm)
M4	3,0	4,4	5,1
M5	5,9	8,7	10
M6	10	15	15
M8	25	35	43
M10	49	72	84

Referencias de los pares de apriete para tornillos vástago métricos DIN 4762 al 90 % de utilización del límite elástico de 0,2 % para el coeficiente de fricción 0,14.



	21250 Ø30	21250-01 Ø30	21250 Ø40	21250-01 Ø40
Guía	Guía de deslizamiento			
Posición de montaje	Opcional			
Velocidad máx.	0,015 m/s (independientemente de carrera)		0,02 m/s (independientemente de carrera)	
Aceleración máx.	3 m/s <sup>2</sup>			
Repetibilidad	± 0,1 mm			
Momento de marcha en vacío máx.	0,6 Nm	0,7 Nm	0,7 Nm	0,8 Nm
Accionamiento	Rosca trapezoidal, Ø14, pendiente 3		Rosca trapezoidal, Ø20, pendiente 4	
Precisión de pendiente	(± 0,1 / 300 mm)			
Tiempo de funcionamiento	S3*, 30 %, base 1 h			
Temperatura ambiente	De 0°C a +60°C			

\*Funcionamiento intermitente sin influencia del arranque en la temperatura

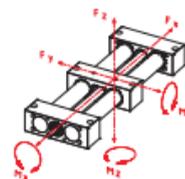
Datos de carga\*:

F Fuerza [N]

M Momento [Nm]

I Momento de inercia de una superficie [cm<sup>4</sup>]

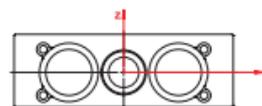
\*Se refiere a los carros guía (flexión del cuerpo de guiado f = 0,5 mm, estática, elementos finales apoyados)



	Fx	Fy	Fz
		500/1000/1500	500/1000/1500
21250 Ø30	800	1000/800/500	550/300/100
21250-01 Ø30	800	1400/1200/700	650/450/200
21250 Ø40	1000	3500/2600/1300	2000/580/120
21250-01 Ø40	1000	6000/3100/1800	2200/680/220

	Mx	My	Mz
21250 Ø30	60	60	75
21250-01 Ø30	80	110	140
21250 Ø40	120	130	150
21250-01 Ø40	160	190	240

	ly	lz
21250 Ø30	3,47	46,57
21250-01 Ø30	3,47	46,57
21250 Ø40	14,84	198,06
21250-01 Ø40	14,84	198,06







## 7. BIBLIOGRAFÍA



## 7. BIBLIOGRAFÍA

Abax3d. (2022a). ¿Qué es el escaneo 3D? Las ventajas de la ingeniería inversa. Abax Innovation Technologies.

<https://abax3dtech.com/2021/01/26/que-es-el-escaneo-3d-las-ventajas-de-la-ingenieria-inversa/#:~:text=El%20escaneo%203D%20es%20un.puntos%20en%20un%20espacio%20tridimensional.>

Abax3d. (2022b). ¿Qué es el escaneo 3D? Las ventajas de la ingeniería inversa. Abax Innovation Technologies.

<https://abax3dtech.com/2021/01/26/que-es-el-escaneo-3d-las-ventajas-de-la-ingenieria-inversa/#:~:text=El%20escaneo%203D%20es%20un.puntos%20en%20un%20espacio%20tridimensional.>

Businesswire. (2016, 15 septiembre). UNYQ Showcases 3D Printed Scoliosis Brace with Embedded Wearable Technology at White House Event Celebrating Inclusive Design, Assistive Technology & Prosthetics.

<https://www.businesswire.com/news/home/20160915006398/en/UNYQ-Showcases-3D-Printed-Scoliosis-Brace-with-Embedded-Wearable-Technology-at-White-House-Event-Celebrating-Inclusive-Design-Assistive-Technology-Prosthetics.>

<https://www.businesswire.com/news/home/20160915006398/en/UNYQ-Showcases-3D-Printed-Scoliosis-Brace-with-Embedded-Wearable-Technology-at-White-House-Event-Celebrating-Inclusive-Design-Assistive-Technology-Prosthetics>

Carmona Benjumea, A. (2001). Datos antropométricos de la población laboral española [Conjunto de datos; Digital]. En Documentación Fundación Mapfre. INSHT.

<https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/es/media/group/1055028.do>



Celera Motion. (2019, 8 julio). Encoders ópticos versus encoders inductivos - Encoders inductivos Zettlex. Encoders inductivos Zettlex.  
<https://www.celeramotion.com/zettlex/es/asistencia/documentacion-tecnica/encoders-opticos-versus-encoders-inductivos/>

Celera Motion. (2020, 4 noviembre). Comparación entre sensores de posición capacitivos y inductivos - Encoders inductivos Zettlex. Encoders inductivos Zettlex.  
<https://www.celeramotion.com/zettlex/es/asistencia/documentacion-tecnica/sensores-de-posicion-capacitivos-y-inductivos/>

Company, E. P (s. f.). An Introduction to Encoder | Encoder Product Company. Encoder Products Company, Inc.  
<https://www.encoder.com/article-que-es-un-encoder>

Control de Medicamentos y Productos Sanitarios-Tipos de productos sanitarios. (s. f.).  
<https://www.caib.es/sites/productessanitarias/es/tipos-de-productos-sanitarios/#:~:text=Categor%C3%ADas%20y%20tipos%20de%20productos,III%20con%20el%20m%C3%A1ximo%20riesgo.>

Corsé Cheneau. (2020, 4 abril). Ortosur.  
<https://www.ortosur.es/catalogo-de-productos/ortesis/corse/corse-cheneau/>

¿Cuál es la diferencia entre husillo de bolas y husillo de avance? (s. f.-a).  
<https://www.omc-stepperonline.com/es/support/cual-es-la-diferencia-entre-husillo-de-bolas-y-husillo-de-avance>

¿Cuál es la diferencia entre husillo de bolas y husillo de avance? (s. f.-b).  
<https://www.omc-stepperonline.com/es/support/cual-es-la-diferencia-entre-husillo-de-bolas-y-husillo-de-avance>



CulturaOcio. (s. f.). Empresas.- Orliman presenta el primer corsé ortopédico fabricado con tecnología 3D. infosalus.com.  
<https://www.infosalus.com/asistencia/noticia-empresas-orliman-pres-enta-primer-corse-ortopedico-fabricado-tecnologia-3d-20211005134234.html>

De Quesada LI, Á. G. (s. f.). Escoliosis idiopática.  
[https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1139-76322011000100014](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1139-76322011000100014)

Delgado, A. (2022). Tecnologías de escaneo 3D: ventajas y limitaciones. Sicnova.  
<https://sicnova3d.com/blog/experiencias-3d/tecnologias-de-escaneo-3d-ventajas-y-limitaciones/>

Desarrollo de un prototipo de corsé personalizado para el tratamiento de Escoliosis Idiopática en forma de “s”. (2021). [Proyecto de fin de grado]. Universidad Antonio Nariño.

Dinamica Drive Solutions,S.A. (2021, 5 agosto). Husillos de bolas | Dinámica. Dinámica.  
<https://www.dinamica.net/productos/movimientolineal/husillos-de-bolas/>

Dr\_VaDmin. (2021, 8 febrero). Escoliosis | Patología desviación de la Columna Vertebral. Doctor Valle Folgueral.  
<https://doctorvalle.es/patologias-de-la-columna-vertebral/escoliosis/>

Ejemplo dimensionado conjunto husillo-tuerca - Accessories. (s. f.).  
<http://www.baiz.net/es/productos-producto-estandar/ejemplo-dimensionado-conjunto-husillo-tuerca>

Escáner 3D Einscan Pro Shining3D : Precio, características, actualidad. . . (2022, 13 enero). Comparador.  
<https://www.3dnatives.com/3D-compare/es/escaneres-3d/einscan-pro/>



Escoliosis: Corsé ortopédico. (2022, enero). Kidshealth.org.

<https://kidshealth.org/es/parents/scoliosis-brace.html#:~:text=%C2%BFDurante%20cu%C3%A1nto%20tiempo%20tienen%20que,llevar%20un%20par%20de%20a%C3%B1os.>

<https://www.ortopedialopez.com.> (s. f.-a). Corsé de Milwaukee.

<https://www.ortopedialopez.com/tienda/corses/corse-de-milwaukee>

/

<https://www.ortopedialopez.com.> (s. f.-b). Corsé nocturno Providence.

<https://www.ortopedialopez.com/tienda/corses/corse-nocturno-providence/>

Fernandez Santos, S. (2018). DIPOSICIÓN PARA MAQUINA PARA EL TRATAMIENTO DE LA ESCOLIOSIS Y DE LAS DESALINEACIONES DEL RAQUIS (Patent N.o W02018130738 (A1)). Organización mundial de la propiedad intelectual.

[https://es.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?FT=D&date=20180719&DB=&locale=es\\_ES&CC=WO&NR=2018130738A1&KC=A1&ND=4](https://es.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?FT=D&date=20180719&DB=&locale=es_ES&CC=WO&NR=2018130738A1&KC=A1&ND=4)

FUNDACION PARA LA INVESTIGACIÓN E INNOVACION BIOSANITARIA DE ASTURIAS (FINBA) & SERVICIO DE SALUD DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS (SESPA). (2020). DEVICE FOR THE MANUFACTURE OF A SCOLIOSIS TREATMENT CORSET (Patent N.o EP3653179 (A1)). Oficina Europea de Patentes.

[https://es.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=EP&NR=3653179A1&KC=A1&FT=D&ND=4&date=20200520&DB=&locale=es\\_ES](https://es.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=EP&NR=3653179A1&KC=A1&FT=D&ND=4&date=20200520&DB=&locale=es_ES)

Husillos y tuercas. (s. f.). Roydisa.

<https://www.roydisa.es/archivos/productos/690>

Inductive encoder technology | POSIC. (s. f.).

<https://www.posic.com/EN/inductive-encoder-technology.html>



H Lou, L., L Hill, D., Donauer, A., Tilburn, M., Hedden, D., & Moreau, M. (2017). Results of ultrasound-assisted brace casting for adolescent idiopathic scoliosis. Biomed Central.

<https://doi.org/10.1186/s13013-017-0130-2>

H Lou, L., L Hill, D., & Ng, K. (2022). Immediate Outcomes and Benefits of 3D Printed Braces for the Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis. Frontiers in Rehabilitation Sciences, 3.

<https://doi.org/10.3389/freesc.2022.840286>

Kg, N. N. (s. f.-a). Unidades de rodamiento con apoyo libre con versión de bloque | norelem.es.

<https://norelem.es/es/Vista-general-de-productos/Sistemas-y-componentes-para-la-construcci%C3%B3n-de-plantas-y-m%C3%A1quinas/24000/Unidades-de-rodamiento/Unidades-de-rodamiento-con-apoyo-libre-con-versi%C3%B3n-de-bloque/p/agid.5053>

Kg, N. N. (s. f.-b). Unidades de rodamiento con apoyo libre con versión de bloque | norelem.es.

<https://norelem.es/es/Vista-general-de-productos/Sistemas-y-componentes-para-la-construcci%C3%B3n-de-plantas-y-m%C3%A1quinas/24000/Unidades-de-rodamiento/Unidades-de-rodamiento-con-apoyo-libre-con-versi%C3%B3n-de-bloque/p/agid.5053>

Kg, N. N. (s. f.-c). Unidades de rodamiento con apoyo libre con versión de bloque | norelem.es.

<https://norelem.es/es/Vista-general-de-productos/Sistemas-y-componentes-para-la-construcci%C3%B3n-de-plantas-y-m%C3%A1quinas/24000/Unidades-de-rodamiento/Unidades-de-rodamiento-con-apoyo-libre-con-versi%C3%B3n-de-bloque/p/agid.5053>

KistlerB2bFrontend. (s. f.).

<https://www.kistler.com/ES/es/sensores-piezoelectricos-vs-extensometricos/C00000145>



Linear magnetic encoder | LM15 encoder - www.rls.si. (s. f.-a).

<https://www.rls.si/eng/lm15-linear-and-rotary-magnetic-encoder-system>

Linear magnetic encoder | LM15 encoder - www.rls.si. (s. f.-b).

<https://www.rls.si/eng/lm15-linear-and-rotary-magnetic-encoder-system>

Linear miniature encoder | RoLin™ encoder - www.rls.si. (s. f.).

<https://www.rls.si/eng/rolin-linear-and-rotary-incremental-magnetic-encoder-system>

Lou, E., Hill, D., Donauer, A., Tilburn, M., Hedden, D., & Moreau, M. (2017). Results of ultrasound-assisted brace casting for adolescent idiopathic scoliosis. *Scoliosis and spinal disorders*, 12(1).

<https://doi.org/10.1186/s13013-017-0130-2>

Mecalux. (s. f.). Fabricación aditiva: la impresión 3D digitaliza la

manufactura. <https://www.mecalux.es/blog/fabricacion-aditiva>

Metrología Industrial Vector 0. (2022, 26 julio). Las aplicaciones de los escáneres 3D en la medicina | BLOG Vector 0 Metrología.

<https://vector0metrologia.com/las-aplicaciones-de-los-escaneres-3d-en-la-medicina/>

Pp, J. (2021, 14 junio). Encoder Magnético.

<https://iespedrovaldivia.net/steam/2020/07/30/encoder-magnetico/>

Redaelli, D. F., Abbate, V., Storm, F., Ronca, A., Sorrentino, A., De Capitani, C., Biffi, E., Ambrosio, L., Colombo, G., & Frascini, P. (2020). 3D printing orthopedic scoliosis braces: a test comparing FDM with thermoforming. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 111(5-6), 1707-1720.

<https://doi.org/10.1007/s00170-020-06181-1>



Rotary encoder | LM13 ring encoder – www.rls.si. (s. f.).

<https://www.rls.si/eng/lm13-magnetic-linear-and-rotary-encoder-system>

Sensores de fuerza + células de carga [N]. (2019, 3 octubre). HBM.

[https://www.hbm.com/es/0249/sensores-de-fuerza-y-transductores-de-fuerza/?product\\_type\\_no=Sensores%20de%20fuerza%20+%20c%C3%A9lulas%20de%20carga%20\[N\]](https://www.hbm.com/es/0249/sensores-de-fuerza-y-transductores-de-fuerza/?product_type_no=Sensores%20de%20fuerza%20+%20c%C3%A9lulas%20de%20carga%20[N])

Sinadrives. (2021). Protocolos y encoders: ¿una relación complicada?  
SINADRIVES.

<https://sinadrives.com/es/tipos-de-encoder-protocolos-y-encoders-una-relacion-complicada/>

Spinal Technology, Inc. (2022, 23 marzo). The Providence Nocturnal Scoliosis® System. Spinal Tech.

<https://spinaltech.com/resources/the-providence-nocturnal-scoliosis-system>

Team, A. (s. f.). Definición de producto sanitario. Regulación y clases.

<https://www.ambit-bst.com/blog/definici%C3%B3n-de-producto-sanitario.-regulaci%C3%B3n-y-clases>

Tratamiento Ortopédico para la escoliosis desarrollado en Ortopedia Plantia – Ortopedia Plantia – Donostia San Sebastián. (s. f.).

<https://plantiaortopedia.com/tratamiento-ortopedico-escoliosis/>

Vialle, R., Abelin, K., & Morin, C. M. (2009). Tratamiento ortopédico de escoliosis idiopáticas. EMC - Técnicas Quirúrgicas - Ortopedia y Traumatología, 1(1), 1-14.

[https://doi.org/10.1016/s2211-033x\(09\)70108-2](https://doi.org/10.1016/s2211-033x(09)70108-2)