

GRADO EN INGENIERÍA DE DISEÑO INDUSTRIAL  
Y DESARROLLO DE PRODUCTOS

**DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYOS  
PARA LA EVALUACIÓN DE  
CAPACIDADES PRENSILES EN  
PRÓTESIS DE MANO**

Autora: Paloma Oliván Cardona  
Tutor: Fco. Javier Andrés de la Esperanza

JULIO 2018





# ÍNDICE

1. OBJETIVOS Y CONTEXTO	3
1.1 Introducción	3
1.1.1 Objeto	3
1.1.2 Justificación	4
1.2 Alcance	5
2. MEMORIA	7
2.1 Antecedentes	7
2.1.1 Amputación y niveles de amputación	7
2.1.2 Definiciones de prótesis y mano	8
2.1.3 Estado del arte en tipos de ensayo realizados	8
2.1.3.1 Inspirados en sistemas de evaluación de la rehabilitación de pacientes	8
2.1.3.2 Inspirados en ensayos de agarre de manos y dispositivos robóticos	11
2.1.3.3 Inspirados en ensayos de manos protésicas de bajo coste	14
2.2 Normas y referencias	16
2.2.1 Disposiciones legales y normas aplicadas	16
2.2.1.1 Proyectos	16
2.2.1.2 Seguridad	17
2.2.1.3 Mantenimiento	17
2.2.2 Programas utilizados	17
2.3 Requisitos de diseño	17
2.3.1 Objetivos de diseño	18
2.3.1.1 Análisis de los objetivos	19
2.3.2 Establecimiento de especificaciones y restricciones	20
2.4 Diseño conceptual	22
2.4.1 Diseño inicial	22
2.4.2 Análisis de soluciones	24
2.4.3 Evaluación de diseños	31
2.5 Diseño de detalle y descripción de montaje	32
2.6 Acabado final	35
2.7 Descripción del proceso de fabricación	36
2.8 Planificación	44
3. CÁLCULOS	47
3.1 Introducción	47
3.2 Planteamiento del problema	47
3.3 Cálculo del contrapeso	47
3.4 Cálculo de reacciones en los rodamientos	50

4. PLIEGO DE CONDICIONES	55
4.1 Objeto del pliego de condiciones	55
4.2 Condiciones legales	55
4.3 Descripción de los materiales utilizados	55
4.4 Especificaciones técnicas de las piezas	58
4.5 Condiciones de fabricación y diseño	59
4.6 Ejecución y plazos	59
4.7 Condiciones facultativas	59
4.8 Condiciones administrativas	60
5. PLANOS	61
5.1 Conjunto PACMAR	
5.2 Conjunto mecanismo	
5.3 Brida	
5.4 Tapa	
5.5 Acople	
5.6 Cánula	
5.7 Medidor	
5.8 Pluma	
5.9 Voladizo	
5.10 Contratuerca de fijación	
5.11 Casquillo para rodamiento axial	
5.12 Casquillo para rodamiento radial	
6. PRESUPUESTO	73
6.1 Cálculo de costes directos	73
6.2 Cálculo de costes indirectos	76
6.3 Cálculo del coste industrial	76
7. ANEXOS	77
7.1 Propuestas de evaluación de e-NABLE	
7.2 Rodamiento axial de bolas de simple efecto 51100	
7.3 Rodamiento radial 61900	
7.4 Práctica extensimetría (DI1013)	
7.5 Diseño de acople	

# CAPÍTULO 1. Objetivos y contexto

## 1.1 INTRODUCCIÓN

### 1.1.1 OBJETO

Este proyecto tiene por objeto el rediseño de un banco de ensayos ya existente para evaluar las capacidades prensiles de manos protésicas, de manera que estos ensayos sean fácilmente reproducibles en distintas universidades que realicen investigaciones sobre este campo.

El presente proyecto surge de la necesidad de ampliar las recientes investigaciones respecto a prótesis de mano, puesto que su desarrollo es muy reciente. Debido a conflictos civiles, enfermedades, defectos de nacimiento y accidentes traumáticos, muchas personas en los países en desarrollo carecen de manos o dedos. Las manos protésicas pueden ayudar a dar a estas personas un sentido de agencia y una mayor capacidad para realizar tareas cotidianas. Desafortunadamente, muchas prótesis son prohibitivamente caras y a menudo requieren mantenimiento y reparación frecuentes. Por lo tanto, son inaccesibles económica y geográficamente para la mayoría de las personas que viven en países en desarrollo.

La OMS (Organización Mundial de la Salud) estima que 650 millones de personas en todo el mundo tienen una discapacidad física. De ellos, el 80% vive en países de bajos ingresos donde solo el 1-2% de la población discapacitada tiene acceso a servicios de rehabilitación. En el mundo en desarrollo, una parte de la población discapacitada la constituye amputados de extremidades superiores debido a guerra, enfermedad o lesión traumática, o de lo contrario, pierden las manos o los dedos debido a defectos de nacimiento. Como la mayoría de los trabajos en estos entornos de bajos recursos requieren mano de obra, muchos amputados de miembros superiores se encuentran en una grave desventaja económica porque no pueden trabajar. La mayoría de las manos protésicas en el mercado son demasiado costosas, complejas e inaccesibles para las personas que viven en entornos de bajos recursos. Por lo general, cuestan cientos o incluso miles de dólares y, a menudo requieren mantenimiento y reparación, lo que puede ser una carga irrazonable para las personas que viven en áreas rurales que deben invertir mucho tiempo y dinero para viajar al técnico o profesional de la salud más cercano. También pueden enfrentar el estigma social debido a su condición.

Muchas de estas personas podrían beneficiarse de un dispositivo protésico, que puede ayudar en las tareas diarias y proporcionar beneficios psicológicos.

La función de la prótesis debe ser fácil e intuitiva, así como apropiada para las tareas diarias que debe realizar un usuario. Para ello es preciso que el agarre de las prótesis sea el adecuado, puesto que aunque realice funciones extraordinarias si no posee un buen agarre todas estas funciones carecen de sentido.

En resumidas cuentas y conforme a estos avances, la principal finalidad de este diseño es acercar al usuario final la posibilidad de ensayar sus manos “OpenSource” de manera que mejore sus características de agarre pudiendo reproducir fácilmente el banco de ensayos.

### 1.1.2 JUSTIFICACIÓN

Actualmente la tecnología sigue creciendo facilitándonos mucho las cosas. La tecnología FDM (Fused Deposition Modeling), ha facilitado mucho la obtención de objetos de manera rápida y económica.

En el campo de las prótesis de mano se ha proporcionado a los usuarios la posibilidad de descargarse las piezas de internet e imprimirlas en una impresora FDM. De esta manera cualquier persona que tenga una impresora de estas características puede obtener una prótesis de forma barata y rápida, además de poder reparar cualquier pieza que resulte dañada volviéndola a imprimir. Los avances recientes en esta tecnología, como las impresoras FDM de energía solar y los diseños de fuente abierta para una variedad de equipos médicos entre otros, la convierten en una opción viable tanto para el mundo occidental como para los países en desarrollo. La opción de una fuente de energía alternativa para alimentar la impresora permitirá el uso de esta tecnología en áreas urbanas y rurales donde la electricidad puede ser escasa.

La fabricación por FDM tiene varias ventajas en comparación con otras técnicas de fabricación:

- Es posible hacer productos de una parte; por lo tanto, no se requiere ensamblaje.
- Hay una gran libertad de diseño; por lo tanto, se pueden hacer geometrías altamente complejas.
- Diseños pueden personalizarse fácilmente; no hay necesidad de cambiar la máquina.
- Partes pueden producirse de forma económica y rápida de la idea al producto final, lo que ofrece la ventaja de rápidas mejoras de diseño.

Sin embargo, también tiene desventajas en comparación con otras técnicas de fabricación. Por ejemplo:

- Es difícil predecir las propiedades mecánicas. La resistencia resultante de una pieza depende en gran medida del método de fabricación, y se pueden seleccionar varios parámetros dependiendo de la orientación de impresión.
- La precisión se ve muy afectada por la contracción de los materiales, los diferentes parámetros de la máquina y los errores inducidos por el software CAD/CAM, así como por el procesamiento posterior.
- Las impresoras FDM pueden trabajar con una cantidad limitada de materiales en comparación con la fabricación convencional, que puede funcionar con casi cualquier material.

Existen varios tipos de prótesis de mano dependiendo de su forma de funcionamiento. Principalmente describiremos dos de ellos. Por un lado están las prótesis de mano mioeléctricas, las cuales se activan mediante unas pequeñas señales eléctricas que genera un músculo siempre que se contrae. Las señales son captadas por medio de unos electrodos situados en el encaje de la prótesis entrando en contacto con la piel. Su aspecto físico está mejor sintetizado y tiene gran fuerza y velocidad de prensión.

Sin embargo, otro tipo de prótesis son las body powered funcionan mediante el uso de cables para unir el movimiento del cuerpo a la prótesis y controlarla. Mover el cuerpo de cierta manera tirará del cable y hará que la prótesis se abra, se cierre o se doble.

Todas ellas se encuentran actualmente siguiendo la línea “Do it yourself” (DIY) para poder desarrollarlas en países pobres (o en vías de desarrollo) para poder solventar el problema que padecen los amputados que no pueden permitirse la adaptación de una prótesis.

Hay disponibles múltiples medidas validadas pediátricas y de adultos para evaluar a los pacientes que usan prótesis de miembros superiores con respecto a la función, la calidad de vida y la adopción de la prótesis en actividades de la vida diaria.

Se han sugerido varias pruebas para evaluar la función de la mano. Sin embargo, actualmente, no existen datos que demuestren cómo las prótesis impresas en 3D afectan el uso pre-hospitalario. Las impresoras 3D domésticas están aumentando el número de prótesis disponibles, y se necesitan estudios para evaluar las ventajas y desventajas de las prótesis impresas en 3D no comercialmente producidas. Existen muchas razones por las que una persona con una amputación o un niño con una ausencia congénita de la extremidad puede dejar de usar las prótesis. La impresión FDM puede ser una forma menos costosa de explorar el interés de un paciente en las prótesis.

Siguiendo la línea del “Do it yourself” se pretende conceder a los investigadores la posibilidad de ensayar el agarre de las manos fabricadas, puesto que pueden dar problemas como los anteriormente nombrados mediante un banco que permita realizar actividades sencillas y a su vez se pueda reproducir fácilmente.

## **1.2 ALCANCE**

El presente proyecto comprende todas las fases necesarias para la realización de un producto. Se parte de un diseño inicial, aprovechando así elementos que se pueden reutilizar y para la próxima reproducción del producto son fáciles de obtener y operar. El proyecto se inicia respecto a la detección y análisis de un problema y la posterior investigación de soluciones. Para conocer el problema, en primer lugar se ha realizado una búsqueda de información y antecedentes. Tras ello, se ha centrado la investigación a un tipo de ensayo más concreto y se han propuesto distintas soluciones, escogiendo un de ellas y proporcionándole los cambios oportunos hasta su diseño final. Se han utilizado distintas técnicas creativas de diseño conceptual y se han realizado cambios en función de su fabricabilidad así como su reducción de piezas. Tras finalizar el diseño del mismo se ha realizado la creación física del mismo, permitiendo así probar una de las manos observando su funcionamiento y efectividad.

Por lo tanto, en los siguientes documentos se pueden comprobar las distintas fases por las que ha pasado el proyecto hasta la solución final, así como los datos e información necesaria para la materialización del producto.





# CAPÍTULO 2. Memoria

## 2.1 ANTECEDENTES

Son antecedentes todos aquellos estudios que anteriormente se han dedicado a la investigación y desarrollo de este tipo de producto (banco de ensayos). En primer lugar, conocer los diferentes tipos de amputación que existen; a continuación se explicará la definición y acepciones del término prótesis y mano. Posteriormente se buscarán los distintos tipos de ensayos que se realizan.

Gracias a esta búsqueda de información se conocen cuáles han sido las vías básicas de experimentación y estudio.

### 2.1.1 AMPUTACIÓN Y NIVELES DE AMPUTACIÓN

La **amputación** es el corte y separación de una extremidad del cuerpo mediante traumatismo (también llamado avulsión) o cirugía. Como una medida quirúrgica, se utiliza para controlar el dolor o un proceso causado por una enfermedad en la extremidad afectada. En algunos países, la amputación de las manos o pies es utilizada como una forma de castigo para los criminales o, en otras culturas se practica como ritual. Actualmente solo se practica cuando se halla en peligro la vida, así como las heridas durante una guerra que a menudo requieren la amputación o accidentes de tránsito. [1]

Los distintos niveles de amputación en el miembro superior son los siguientes:

- Amputación de dedos
- Amputación metacarpiana
- Desarticulación de muñeca
- Amputación del antebrazo (transradial)
- Desarticulación del codo
- Amputación arriba del codo (transhumeral)
- Desarticulación de hombro y posterior amputación

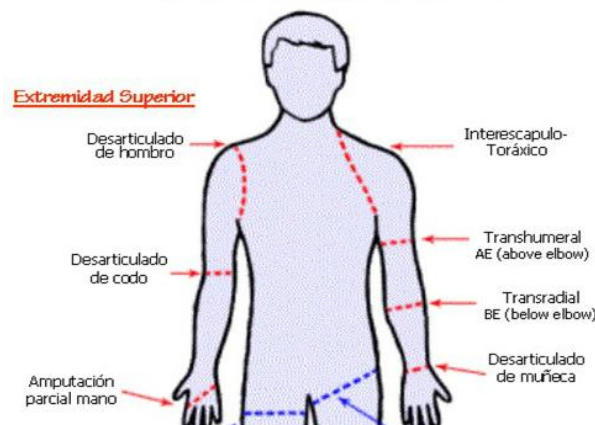


Figura 1. Niveles de amputación del miembro superior [45]

## 2.1.2 DEFINICIONES DE PRÓTESIS Y DE MANO

Definiciones de **prótesis**:

- f. Med. Procedimiento mediante el cual se repara artificialmente la falta de un órgano o parte de él; como la de un diente, un ojo, etc. [3]
- Extensión artificial que reemplaza o provee una parte del cuerpo que falta por diversas razones. [4]
- Colocación o sustitución de un órgano, una pieza o un miembro del cuerpo por otro o por un aparato especial que reproduce más o menos exactamente la parte que falta.
- Pieza o aparato artificial que se coloca o se implanta en el cuerpo de un ser vivo para sustituir a otra pieza, a un órgano o a un miembro. [5]

Definiciones para **mano**:

- Parte del cuerpo humano que va desde la muñeca hasta la punta de los dedos. [6]
- Extremidad de los monos y otros animales, cuyo dedo pulgar puede oponerse perfectamente a los otros dedos. [5]

## 2.1.3 ESTADO DEL ARTE EN TIPOS DE ENSAYO REALIZADOS

Para poder dar una buena validez al funcionamiento de las prótesis se han desarrollado a lo largo de los tiempos múltiples ensayos de distinto tipo a usuarios que carecen de miembro superior. Algunos ensayos adoptan sistemas de evaluación en la rehabilitación de pacientes, mientras que otros adoptan métodos de ensayos que se han ideado específicamente para la evaluación de prótesis. A continuación se muestran algunos de ellos:

### 2.1.3.1 Inspirados en sistemas de evaluación de la rehabilitación de pacientes.

Entre otros podemos encontrar:

- Shouthampton Hand Assessment Procedure (SHAP)  
La prueba SHAP [7] consiste en una manipulación de una serie de objetos abstractos ligeros y pesados. Las tesis están destinadas a reflejar directamente los patrones específicos de agarre, mientras que también evalúan la fuerza y el cumplimiento del agarre. Esto es seguido por 14 tareas ADL (Activities of Daily Living). Para garantizar la estandarización, se debe seguir el procedimiento de prueba del evaluador, mientras que la objetividad se mantiene mediante el autocontrol del participante. Se espera que una evaluación completa tarde alrededor de 20 minutos (incluidas todas las explicaciones pertinentes al tema).



Figura 2. Caja de elementos de la prueba SHAP [8]

Este ensayo está más enfocado a la evaluación de pacientes en vías de rehabilitación, pero muchos protésicos ya lo toman como referente para testear la eficacia de sus diseños. Sin embargo, muchas de las actividades propuestas no acaban siendo representativas en la manera de actuar de un amputado. [14]

- Sollerman Hand Function Test

Se trata de una prueba de función de agarre basada en estos estudios en la que se usaron siete de los ocho agarres manuales [9]. La prueba consiste en 20 subpruebas, cada una de las cuales comprende una tarea que se considera una actividad de la vida diaria, cuyo rendimiento podría calificarse fácilmente. El examinador califica cada subprueba en una escala de 4 a 0 según las pautas para puntuación. Las reglas de puntuación se eligieron para que los sujetos con la función de la mano normal alcanzaran 80 puntos con la mano dominante. El equipo de prueba se montó en una caja, por lo que la prueba se puede aplicar rápida y fácilmente. Al probar la función de la mano, el sujeto está sentado frente a la caja, que se coloca sobre una mesa. Como el límite superior de tiempo para cada subprueba es de un minuto, la prueba generalmente se puede completar en 20 minutos.

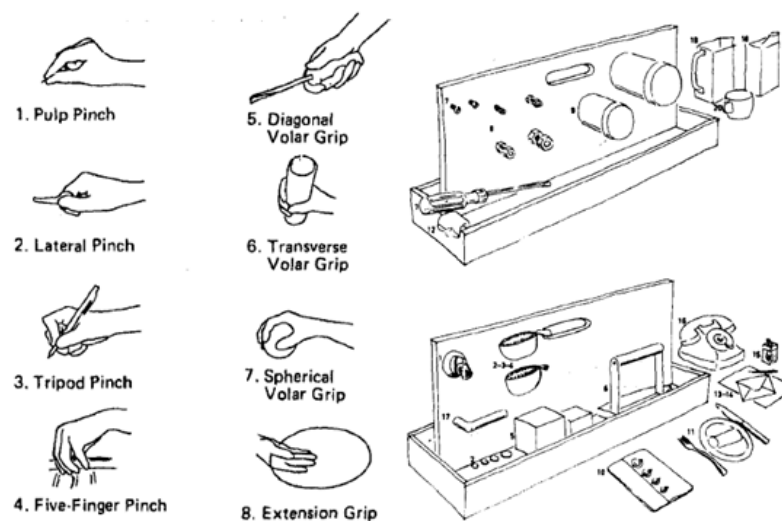


Figura 3. Tipos de agarre y mesa de trabajo

- Box and Blocks

La prueba de Box and Blocks [10] se compone de una caja de madera dividida en dos compartimentos por un tabique y 150 bloques. El usuario debe mover uno a uno la cantidad máxima de bloques de un compartimento al otro en 60 segundos. La caja se debe orientar longitudinalmente y colocarse en la línea media del cliente, con el compartimento que sujeta los bloques orientados hacia la mano que se está probando.



*Figura 4. Caja para Box and Blocks*

- Purdue Pegboard

Se trata de una prueba neuropsicológica de destreza manual y coordinación bimanual [11]. La prueba involucra dos habilidades diferentes: movimientos groseros de brazos, manos y dedos, y extremidades motoras finas. El tablero consiste en una tabla con dos filas paralelas con 25 orificios en los cuales el examinado coloca clavijas metálicas cilíndricas. La prueba implica un total de cuatro ensayos.

Para comenzar, hay una breve práctica. Los subconjuntos para las manos preferidas, no preferidas y ambas requieren que el paciente coloque las clavijas lo más rápido posible, siendo la puntuación la cantidad de clavos colocados en 30 segundos.



*Figura 5. Purdue Pegboard [12]*

Estos ensayos anteriormente descritos están más enfocados a la evaluación de pacientes en vías de rehabilitación, pero muchos protésicos ya lo toman como referente para testear la eficacia de sus diseños. Sin embargo, muchas de las actividades propuestas no acaban siendo representativas en la manera de actuar de un amputado. [14]

### 2.1.3.2 Inspirados en ensayos de agarre de manos y dispositivos robóticos.

Generalmente estos ensayos involucran un grado de electrónica elevado, lo cual los convierte en críticos a la hora de disponerlos como Benchmark para la evaluación comparativa en países con recursos limitados.

#### *National Institute of Standards and Technology (NIST)*

El National Institute of Standards and Technology (NIST [13]) suelen evaluar en sus test de mano pinzas robóticas. Este conjunto de pruebas estándar se centra en las fuerzas requeridas para sacar objetos de la pinza mientras está colgada. A continuación se van a detallar una serie de pruebas propuestas por el mismo:

- Para la primera prueba, las diferentes manos protésicas fueron montados con una fuerza constante de 75 N tirando del cable de accionamiento. Tres tamaños diferentes: Cilindros de PVC (23,7 - 42,3 - 60,7 mm de diámetro exterior) luego fueron retirados lentamente de la mano. La prueba se realiza tanto en vertical donde los dedos de la mano se estaban forzando a abrir, y en horizontal donde estaba el cilindro tirado hacia los lados fuera de la compresión. La prueba horizontal evalúa tanto la fuerza de agarre como la fricción de agarre en superficie.

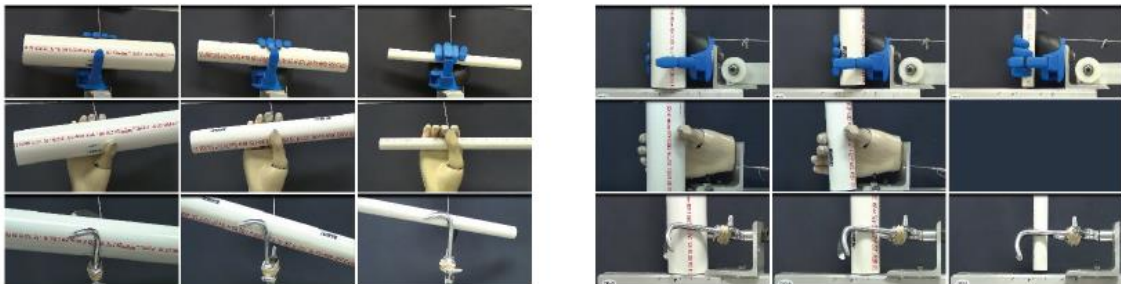


Figura 6. Ensayo NIST en diferentes prótesis

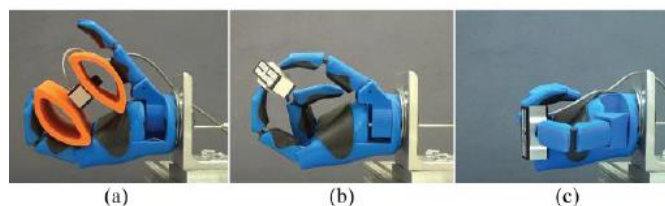


Figura 7. En este tipo de ensayo también realizado por el NIST se prueba la mano Yale Multigrasp. Se pueden observar tres agarres: a) una configuración de agarre de potencia con el cilindro de agarre naranja para simular objetos cilíndricos más grandes, b) agarre de precisión donde la fuerza de agarre está estrictamente entre el índice y el pulgar y c) agarre lateral entre el pulgar y el lado del dedo índice. [13]

- Touch Sensivity

Esta prueba mide la mínima fuerza ejercida por un dedo sobre un objeto [16]. La prueba consiste en colocar un dedo completamente extendido en contacto con el objeto. A continuación se le ordena a la mano cerrar el dedo completamente a una determinada velocidad. En cuanto la mano detecta contacto se le ordena abrir completamente. Esta prueba se realiza 10 veces para cada una de las 6 velocidades posibles. Finalmente se calcula la media del pico de fuerzas registradas por el artefacto sensor.

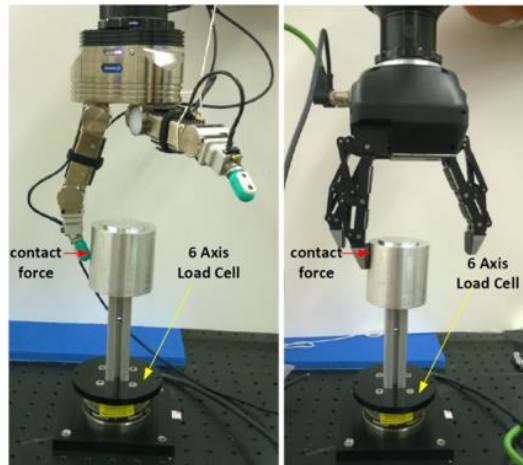


Figura 8. Touch Sensivity

- Slip resistance

Esta prueba [16] mide la capacidad de la mano para resistir el deslizamiento. Es una medida de la fricción de los dedos. En primer lugar se coloca un cilindro en la mano. La mano se cierra con la máxima fuerza posible, y a continuación se tira del cilindro con una fuerza creciente hasta que se observa el deslizamiento visualmente. Este proceso se repite con cilindros de distinto grosor. Finalmente se medie la máxima fuerza de estiramiento ejercida. Esta prueba es igual que la primera explicación de las pruebas NIST.

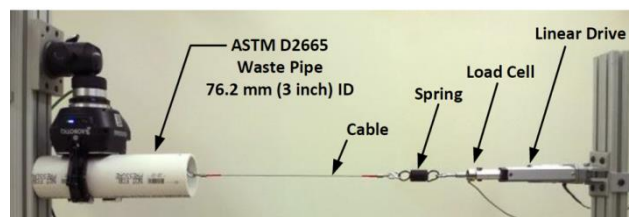


Figura 9. Slip Resistance

Para este tipo de pruebas el NIST propone el Split Cylinder, que permite medir las fuerzas internas generadas en agarres de presión y de fuerza. Tiene varias versiones según el tipo de sensores de fuerza que se puedan usar.

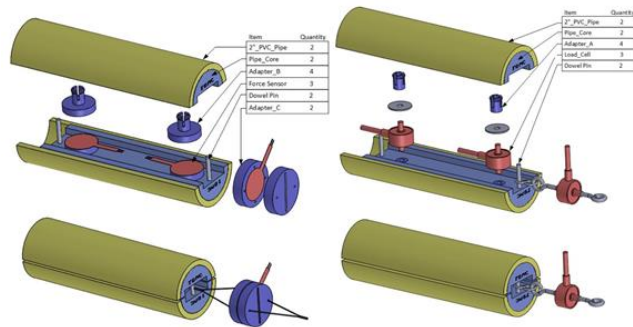


Figura 10. Split Cylinder Artifact

La Universidad de Rice propone una solución muy parecida al Split Cylinder anterior. Es muy parecido pero utilizando otro método: mediante el uso de sensores de presión en su superficie. Propone un cilindro, una esfera y un prisma rectangular.

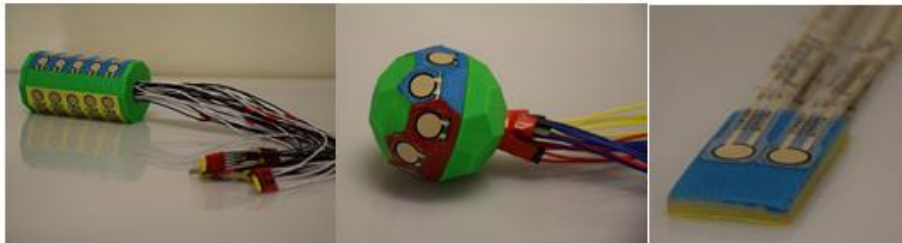


Figura 11. Instrumentos propuestos por la universidad de Rice [15]

- **Finger Strength**

Este ensayo [16] se encarga de medir la fuerza máxima que puede ser ejercida por un dedo sobre el entorno. Consiste en colocar el dedo en contacto con el artefacto de medida y se verifica que ejerce fuerza cero. Se ordena cerrar completamente el dedo hasta que el control se satura. Se realizan diversos ciclos de cierre/apertura. Finalmente se calcula la media de la fuerza en regiones cuasi estáticas.

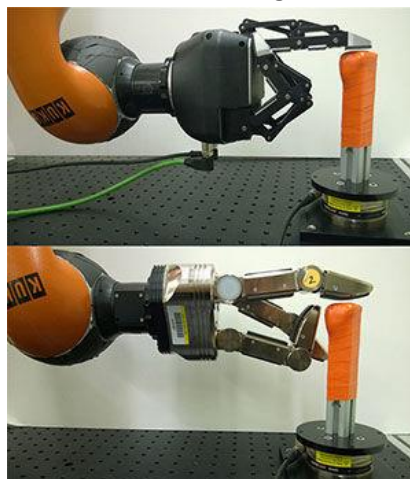


Figura 12. Prueba finger strength

### 2.1.3.3 Inspirados en ensayos de manos protésicas de bajo coste.

Respecto a las investigaciones sobre la eficacia en el post-diseño de manos de bajo coste hay muy pocas investigaciones realizadas. Las primeras manos publicadas como Open Source han sido, por motivos obvios de disponibilidad para el usuario doméstico bajo la premisa “Do it yourself” (DIY), las manos de la comunidad e-NABLE [17].

Se trata de una comunidad de voluntarios cuyo objetivo es crear diseños económicos y libres de uso de prótesis de manos y brazos. En su web se pueden encontrar múltiples diseños, así como la narración de diversas experiencias de usuarios.

La comunidad e-NABLE, en el año 2014 esbozó un repositorio de benchmarks para las manos diseñadas [18]. En ellos encontramos una serie de requisitos así como una lista de pros y contras sobre estas propuestas:

PROS	CONTRAS
Pretenden diseñar dispositivos para medir: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia mecánica (MET): relación entre la fuerza transmitida por el sujeto y la ejercida por la prótesis.</li> <li>• Eficacia de agarre (GET): relación entre la fuerza ejercida por los dedos y el peso de los objetos sujetados.</li> <li>• Durabilidad de la prótesis</li> </ul> Requisitos que deben cumplir las prótesis: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste &lt; 1000\$</li> <li>• Fácil de construir</li> <li>• Construible en un fin de semana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solo vale para sus manos body powered, específicamente las accionadas desde la muñeca.</li> <li>• El proyecto quedó inacabado. No hay archivos disponibles para establecer un benchmark.</li> </ul>

Tabla 1. Comparación pros y contras del repositorio e-NABLE

- Meetze MET device  
Este es un diseño de Skip Meetze [18] para evaluar la eficiencia mecánica de una mano protésica. El aparato está en un plano horizontal para evitar complicaciones por el peso de la mano y el guantelente. Sobre dos ejes se montan los elementos de la mano, actuando estos como muñeca y nudillos permitiendo el giro. Las medidas se toman estando quieto mediante los dinamómetros que aparecen en la siguiente figura explicativa (Figura 13).



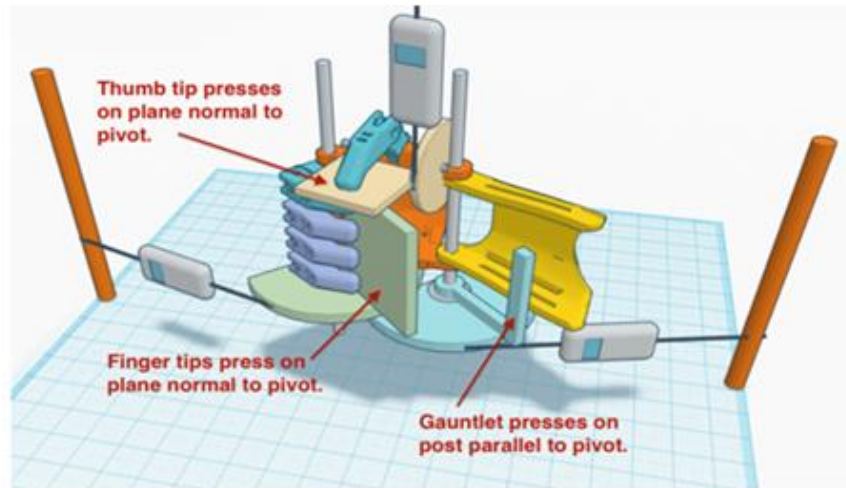


Figura 13. Aparato para evaluar la eficiencia mecánica

- Hall GET device v1

Hall GET device v1 [18] es un repositorio para probar dispositivos que están destinados a medir qué tan efectivamente una mano protésica se agarra a los objetos del mundo real. La eficacia de agarre prueba la eficacia con la que la fuerza de agarre de los dedos se puede traducir en objetos de sujeción. Se genera una fuerza estática de una cantidad conocida en los cables de tensión de la mano usando el tornillo de tensión, y se mide mediante la escala de resorte. La mano agarra un tubo de cromo de 8" de largo, del cual se suspende un balde de 5 galones. Se vierte lentamente agua del lanzador graduado a una tasa fija. La medición del volumen/peso del agua se toma cuando el agarre es insuficiente para sostener el peso, y el cubo se cae.

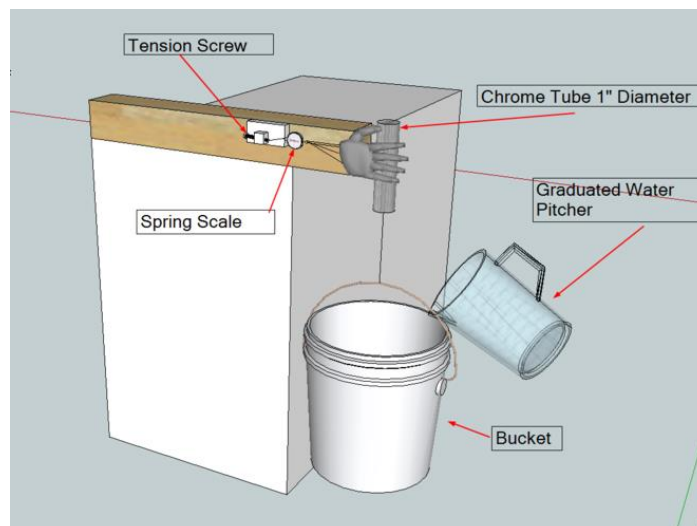
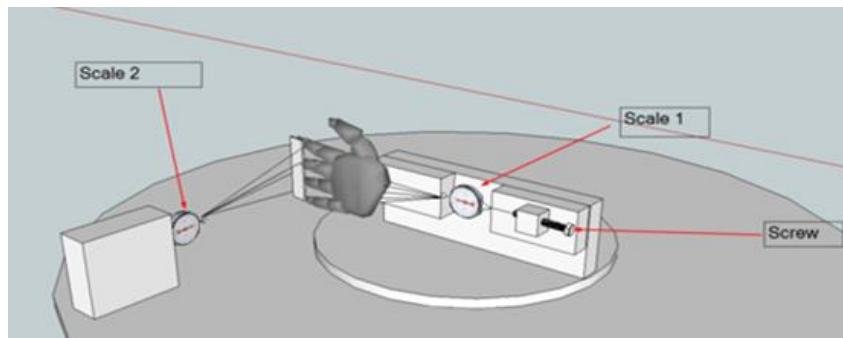


Figura 14. Repositorio para probar la efectividad de agarre

- Hall MET device v1

Este es un diseño de Skip Meetze para evaluar la eficiencia mecánica de una mano protésica [18]. Utiliza dos tornamesas que giran independientemente la una de la otra. La razón por la que hace esto es porque a medida que los dedos se curvan, la escala que mide la fuerza de agarre del dedo necesita girar para mantenerse perpendicular a la parte posterior de las puntas de los dedos. Utiliza un tornillo simple que se adjunta una escala, que se adjunta a las líneas del tendón de la mano. Girar el tornillo genera fuerza de agarre. Usando esta herramienta se puede determinar de forma cuantitativa exactamente qué efecto tiene cada uno de los componentes sobre la fuerza de agarre de la mano.



*Figura 15. Mesas giratorias para evaluación de eficacia mecánica*

El presente proyecto que se está exponiendo pretende recapitular algunas de las ideas anteriormente descritas del proyecto. Básicamente se pretende que dicho banco sea de bajo coste pero haciéndolo válido para evaluar tanto prótesis body powered como prótesis mioeléctricas.

Esto se logrará partiendo del principio de que todas las prótesis se accionarán por unos motores eléctricos cuyo par (input del sistema) es medible, lo cual es interesante para evaluar la salida (output) que serán: fuerza en dedos y capacidad prensil de objetos.

## **2.2 NORMAS Y REFERENCIAS**

A continuación se detallarán una serie de normas y leyes que se han de cumplir tanto para la correcta realización del proyecto y cumplimiento de la legislación.

### **2.2.1 DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS**

#### **2.2.1.1 Proyectos**

UNE 157001:2014

Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico

### **2.2.1.2 Seguridad**

LEY 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

REAL DECRETO 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.

REAL DECRETO 1801/2003, de 26 de diciembre, sobre seguridad general de los productos.

REAL DECRETO 486/1997 de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

REAL DECRETO 1215/1997 del 18 de julio, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

REAL DECRETO 773/1997 de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

### **2.2.1.3 Mantenimiento**

UNE 151001:2011.

Mantenimiento. Indicadores de mantenibilidad de dispositivos industriales. Definición y evaluación.

## **2.2.2 PROGRAMAS UTILIZADOS**

A continuación se nombran los diferentes programas de cálculo utilizados a lo largo del proyecto y la función que ha realizado cada uno.

- Programa para realización de planos y modelos en 3D: SolidWorks 2016x64 Edition
- Programa de realización de ilustraciones: Adobe Illustrator
- Programa de procesamiento de textos: Microsoft Word
- Programa para diagrama Gantt: GanttProject
- Programa para búsqueda de materiales y sus características: CES EduPack

## **2.3 REQUISITOS DE DISEÑO**

En primer lugar conoceremos el nivel de generalidad del producto a desarrollar. En este caso tiene un nivel de generalidad medio, puesto que se destinará la investigación en los tipos de ensayo que se pueden practicar.

Una vez conocido el producto a desarrollar y sus antecedentes, para conocer bien el problema y encontrar una mejor solución al problema se enunciarán correctamente los objetivos que el producto debe cumplir para realizar las soluciones pertinentes para analizarlos posteriormente. Esta fase comienza con la definición de los principales objetivos, impuestos por el cliente, seguidamente los objetivos correspondientes a los grupos afectados y, finalmente transformarlos en especificaciones y restricciones.

En este caso el problema principal es permitir el análisis de capacidades prensiles a investigadores de este campo, realizado a partir de un banco ya existente que sufrirá las modificaciones pertinentes.

### **2.3.1 OBJETIVOS DE DISEÑO**

Para poder establecer unos objetivos de diseño generales se han de tener en cuenta diferentes puntos de vista y encontrar una solución que satisfaga al mayor número de colectivos implicados posible en la vida del producto. Los grupos afectados serían los siguientes:

- Diseñador
- Fabricante
- Investigador

A continuación se especificarán los distintos objetivos de diseño para el banco de ensayos:

#### A) Departamento de diseño

1. Ampliar la investigación de las funciones en prótesis de mano
2. Que los materiales sean fáciles de adquirir
3. Utilizar productos ya existentes
4. Que los materiales sean fáciles de manipular
5. Que las piezas nuevas a fabricar se puedan obtener por FDM
6. Que el precio total no sea muy alto
7. Que cumpla bien su función
8. Tener una estructura robusta
9. Estar constituido de material resistente al peso y posibles golpes

#### B) Fabricación

10. Que sea de fácil fabricación
11. Que sea fácil de ensamblar
12. Que no tenga piezas muy pequeñas
13. Que los materiales utilizados sean fácil de mecanizar
14. Manipulación segura de las piezas
15. Utilización de maquinaria no muy compleja

C) Investigadores

16. Que sea seguro de manejar
17. Que cumpla bien su función
18. Que no tenga un tamaño excesivo
19. Que sea fácil de manejar
20. Que haga poco ruido en su uso y manipulación

### 2.3.1.1 Análisis de los objetivos

De acuerdo con los objetivos establecidos anteriormente se clasifican los mismos en los siguientes aspectos de diseño considerados.

A) Ecología

- Utilizar productos ya existentes (3) **E**
- Que los materiales sean fáciles de adquirir (2) **R**

B) Funcionamiento

- Que cumple bien su función (7-17) **E**
- Que sea fácil de manejar (19) **E**
- Que sea intuitivo (20) **E**
- Que haga poco ruido en su uso y manipulación (21) **E**

C) Resistencia

- Tener una estructura robusta (8) **R**
- Estar constituido de material resistente al peso y posibles golpes (9) **R**

D) Seguridad

- Que los materiales sean fáciles de manipular (4) **E**
- Manipulación segura de las piezas (14) **R**
- Que sea seguro de manejar (16) **E**

E) Fabricación

- Que las piezas nuevas se puedan obtener por FDM (5) **NE**
- Que sea de fácil fabricación (10) **E**
- Que el precio total no sea muy alto (6) **E**
- Que no tenga un tamaño excesivo (18) **E**
- Que sea fácil de ensamblar (11) **E**
- Que no tenga piezas muy pequeñas (12) **E**
- Que los materiales usados sean fáciles de mecanizar (13) **E**

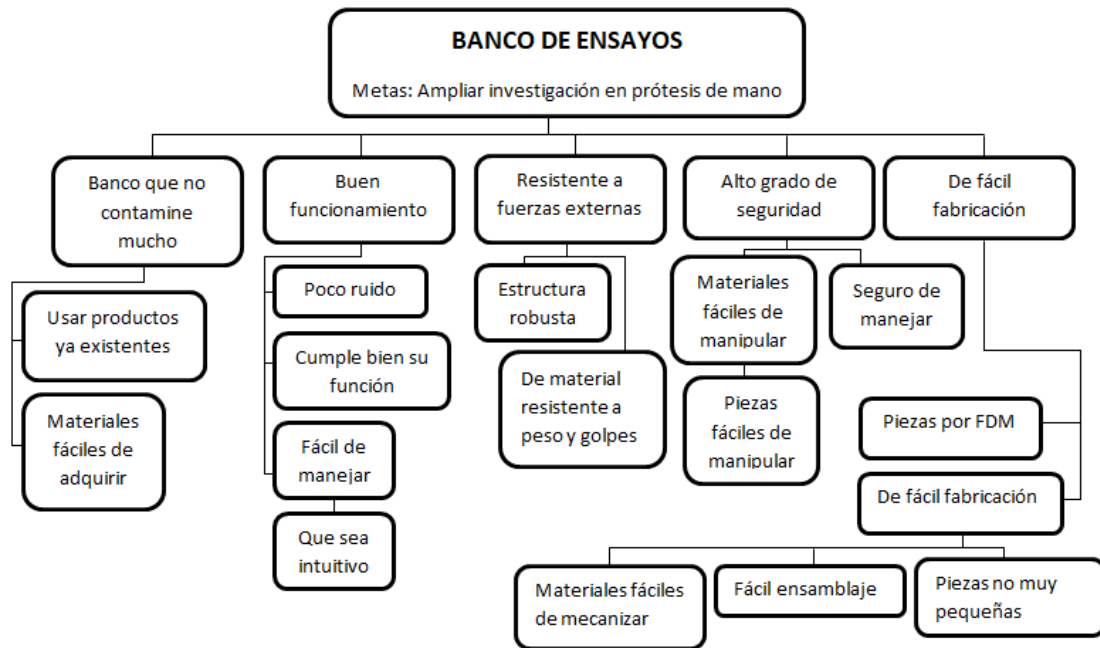


Figura 16. Relación entre objetivos

### 2.3.2 ESTABLECIMIENTO DE ESPECIFICACIONES Y RESTRICCIONES

En el apartado anterior se han definido los objetivos de diseño entre los cuales se buscará la solución del problema. Para valorar las soluciones propuestas, los objetivos se redefinirán en Especificaciones y Restricciones. Los primeros son objetivos en los cuales se establece una escala y una variable para determinar el grado de cumplimiento de cada solución. Las restricciones son objetivos que se deben cumplir sí o sí.

Gracias a esta definición y clasificación de objetivos se pueden analizar las soluciones y determinar cuál cumple el mayor número de objetivos.

	OBJETIVOS		ESPECIFICACIÓN	Criterio de preferencia
3	Utilizar productos ya existentes	3'	La mayoría de elementos deben ser reutilizados	El mayor número posible
7-17	Que cumpla bien su función	7'	La función debe cumplirse lo mejor posible	Lo mejor posible
19	Que sea fácil de manejar	19'	Que requiera el menor tiempo posible en su manejo	El menor tiempo posible
20	Que sea intuitivo	20'	Que requiera el menor tiempo posible en su manejo	El menor tiempo posible
21	Que haga poco ruido en su uso y manipulación	21'	Que el número de decibelios sea el mínimo posible	Los menos decibelios posibles
4	Materiales fáciles de manipular	4'	Que se manipulen en el menor tiempo posible	El menor tiempo posible
10	Que sea de fácil fabricación	10'	Que el tiempo de fabricación sea el mínimo posible	El menor tiempo posible
6	Que el precio total no sea muy alto	6'	Que el precio sea el mínimo posible	El mínimo posible
18	Que no tenga un tamaño excesivo	18'	Que tenga un tamaño lo más reducido posible	Lo mínimo posible
11	Que sea fácil de ensamblar	11'	Que el tiempo de ensamblaje sea lo mínimo posible	El menor tiempo posible
12	Que no tenga piezas muy pequeñas	12'	Que las piezas no sean muy pequeñas	Lo menos posible
13	Que los materiales sean fáciles de mecanizar	13'	Que el tiempo de mecanizado de materiales sea el mínimo posible	El menor tiempo posible

*Tabla 2. Transformación en especificaciones*

Objetivo	Variable	Escala
3' La mayoría de elementos deben ser reutilizados	Nº de componentes reciclados	Proporcional
2 La mayoría de materiales han de ser fáciles de adquirir	Restricción	
7' La función debe de cumplirse lo mejor posible	Tiempo	s
19' Que requiera el menor tiempo posible en su manejo	Tiempo	s
20' Que requiera el menor tiempo en su manejo	Tiempo	s
21' Que el número de decibelios sea el mínimo posible	Volumen	db
8 Que tenga una estructura robusta	Restricción	
9 Que el material sea resistente a golpes y peso	Restricción	
4' Que se manipulen en el menor tiempo posible	Tiempo	s
14 Manipulación segura de piezas	Restricción	
16 Que sea seguro de manejar	Restricción	
10' Que el tiempo de fabricación sea el mínimo posible	Tiempo	s
6' Que el precio sea el mínimo posible	Precio	€
18' Que tenga un tamaño lo más reducido posible	Volumen	m <sup>3</sup>
11' Que el tiempo de ensamblaje sea el mínimo posible	Tiempo	s
12' Que las piezas no sean muy pequeñas	Volumen	m <sup>3</sup>
13' Que el tiempo de mecanizado sea el mínimo posible	Tiempo	s

*Tabla 3. Variables y escala de los objetivos*

## 2.4 DISEÑO CONCEPTUAL

### 2.4.1 DISEÑO INICIAL

A continuación se desarrollan las diferentes fases de diseño conceptual por las que ha pasado el banco de ensayos.

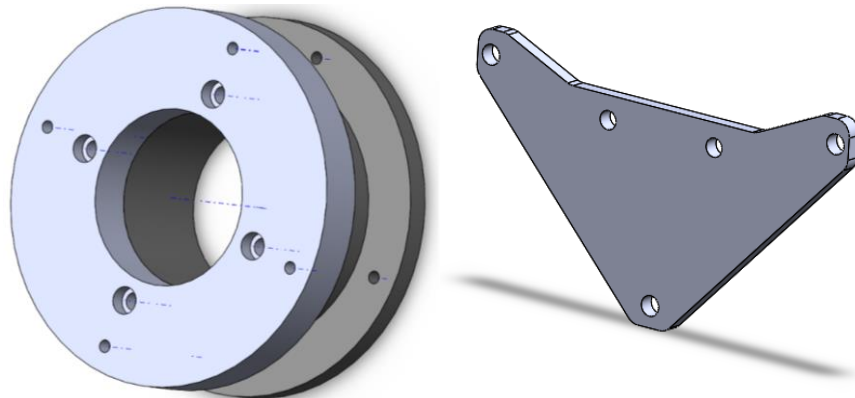
Inicialmente se parte de un diseño ya desarrollado y fabricado. Se trata de la plataforma PACMAR, ya utilizada para poder adaptar manos protésicas y hacerlas funcionar mediante una serie de elementos adaptados al mismo. Estos elementos serán conservados para poder seguir incorporando diferentes manos al dispositivo. Está fabricado en perfilera de aluminio.





*Figura 17. PACMAR en su estado inicial*

Además posee una serie de elementos complementarios que, como anteriormente se ha citado permite adaptar distintas manos. Contiene una brida y una tapa fabricadas ambas por acero inoxidable. Por otro lado, a esa brida se incorpora un soporte impreso en FDM que actúa como nexo entre la brida y la prótesis.



*Figura 18. IZDA: Tapa y Brida; DCHA: Adaptador para amarre de prótesis*

Todas las prótesis deben tener una adaptación en la zona final para poder adaptarlas a este elemento, puesto que sino no se pueden incorporar al banco de ensayos. Se encuentra explicado en el anexo 5.

En el otro lado de la brida hay otra serie de elementos que se encargarán de realizar las órdenes para el movimiento de los dedos de la mano. A la brida se le incorpora un componente, también impreso en FDM, sobre el que se montará el motor que traducirá el impulso necesario para el movimiento al mecanismo que posea la prótesis a evaluar.

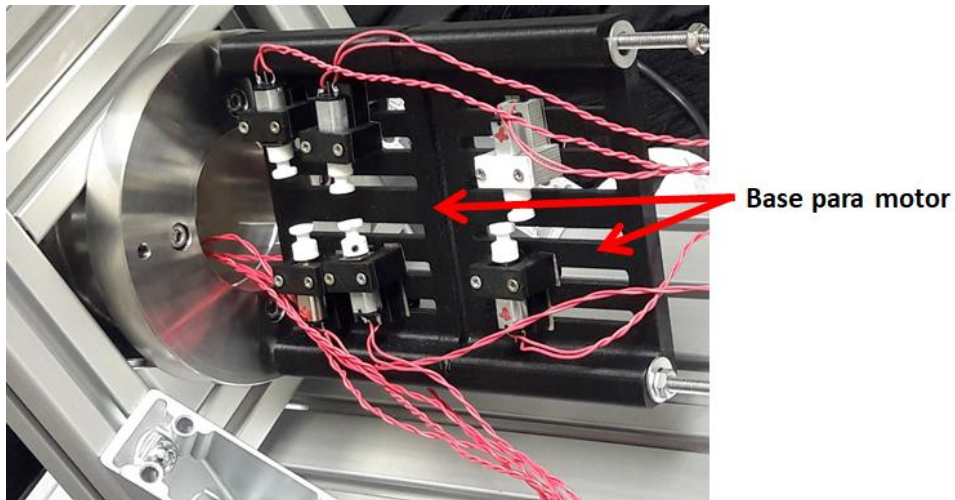


Figura 19. Base para motor

Este circuito se controla mediante un circuito electrónico monitoreado por un Arduino, que es un microcontrolador.

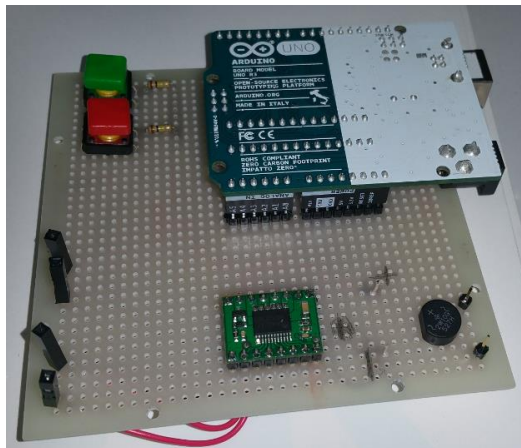


Figura 20. Circuito electrónico

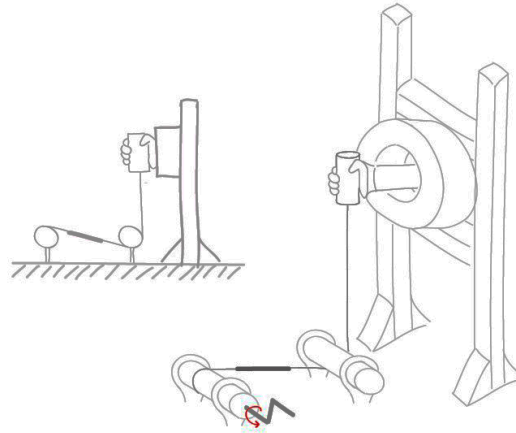
## 2.4.2 ANÁLISIS DE SOLUCIONES

A partir de todo este montaje se comienzan a realizar los primeros cambios. Como se ha nombrado en el apartado anterior se pretende reproducir dos de las propuestas de ensayo del foro e-NABLE que no llegaron a mayor investigación y desarrollo.

Por un lado medir y comprobar la capacidad de agarre a formas primitivas como pueden ser un cilindro o una esfera frente al efecto de la gravedad. Dichas formas primitivas serán de dimensiones variadas y estandarizadas, variando incrementalmente su peso.

En la *Figura 21* el agarre de formas primitivas mediante dos rodillos por los que pasa un cable que se iría enrollando mediante una manivela. La fuerza quedaría reflejada mediante un dinamómetro (representado mediante una línea más ancha en el cable).

Este ensayo se puede reproducir de una manera más sencilla mediante el uso de un cubo como se partía de la idea inicial. Además el cable, al friccionar con los rodillos perturbaría el valor de las mediciones.

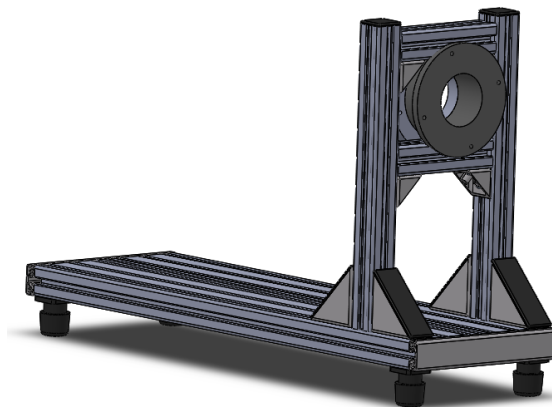


*Figura 21. Idea para capacidad de agarre de formas primitivas [D1]*

Por lo tanto, para ello en el banco se buscarán soluciones que:

- a) Faciliten mediciones directas, en la medida de lo posible. Esto es, sin implicar pérdidas de energía por elementos de transmisión o guiado del movimiento.
- b) Respeten, en la medida de lo posible, la inversión inicial realizada en el diseño primario.

En base a ello, y como primera reconfiguración, se trasladará el cuerpo principal hasta el extremo del raíl. De este modo se conseguirá un espacio diáfano enfrente de la brida en donde el abanico de pruebas a realizar será mayor.



*Figura 22. PACMAR adelantado*

Uno de los ensayos que se busca implementar pretende evaluar la ventaja mecánica en el rango de flexión de las falanges. Para ello, mediante un dinamómetro, se medirá la fuerza en cada dedo, siendo esta perpendicular a las falanges frente al par motor de los dedos.

Para conseguir esto es necesario diseñar un mecanismo que permita el giro relativo entre la mano protésica y el dinamómetro que mida la fuerza que transmita.

En la Figura 23 se visualiza una propuesta similar a la propuesta de e-NABLE. La base sobre la que va montado el cuerpo principal de PACMAR se mecanizaría cortando un perfil circular del mismo para que gire respecto del material sobrante, que seguiría formando parte del mecanismo. Por otro lado se elevaría una torre en la cual se colocaría, a la misma altura a la que se encontraría la prótesis de mano un dinamómetro que mediría la fuerza ejercida sobre una placa muy fina.

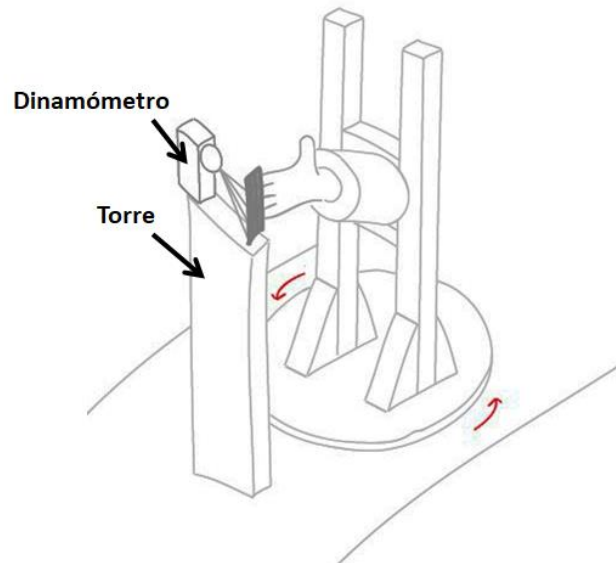


Figura 23. Idea para evaluación de la ventaja mecánica [D2]

Tras evaluarlo se ha llegado a la conclusión de que la torre y disposición del dinamómetro son un tanto complejas, y además el diseño es poco configurable frente a diferentes tamaños de mano. Asimismo es difícil de manejar en su giro y no cumplirá bien su función.

Para evitar que los elementos necesarios para las pruebas de evaluación de las prótesis (evaluación de agarre de formas primitivas y evaluación de la ventaja mecánica) interfieran entre sí se ha pensado que el movimiento relativo se realice desde un *brazo superior*.

Por tanto, el diseño definitivo:

- a) Dicho *brazo superior* iría montado sobre el cuerpo principal girando a su vez sobre él. El nuevo brazo será también de perfilería de aluminio para mantener el diseño además de la ventaja de que ya se trata de una barra.
- b) Mediante un sistema de dinamómetro vinculado a ese *brazo superior*, se medirá la fuerza en cada dedo, siendo esta perpendicular a las falanges frente al par motor de los dedos.
- c) Al poseer una serie de elementos que se suspenderán del brazo ha de colocarse un contrapeso en el otro lado del brazo para estabilizar el conjunto.

- d) Se buscará que la altura de los dedos y distancia de la mano a la placa sea variable en función de la prótesis que se pruebe ya que cada una posee un tamaño distinto (Figura 24).

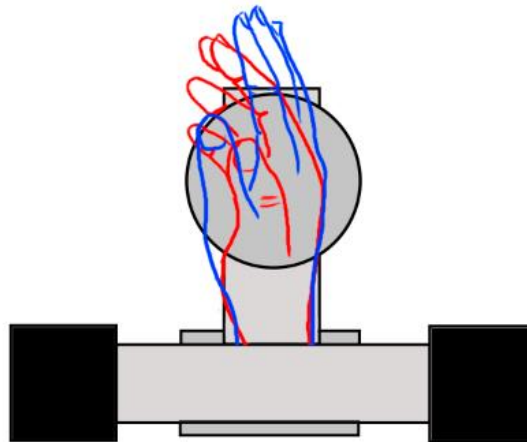


Figura 24. Comparativa tamaños de mano

Para montar el mecanismo sobre la plataforma se ha acoplado un tornillo que irá finalmente sujeto a una tuerca manteniendo fijo el mecanismo cuando sea necesario. Sobre él se montará el brazo. Para permitir el giro relativo entre ambos de una manera efectiva y sin desgastar mucho el material se acoplará un rodamiento. En este caso se ha añadido un rodamiento radial de bolas pero, sin embargo no es el que se añadirá finalmente. Su estudio se lleva a cabo en el apartado 4 de cálculos donde se detalla la selección del mismo.

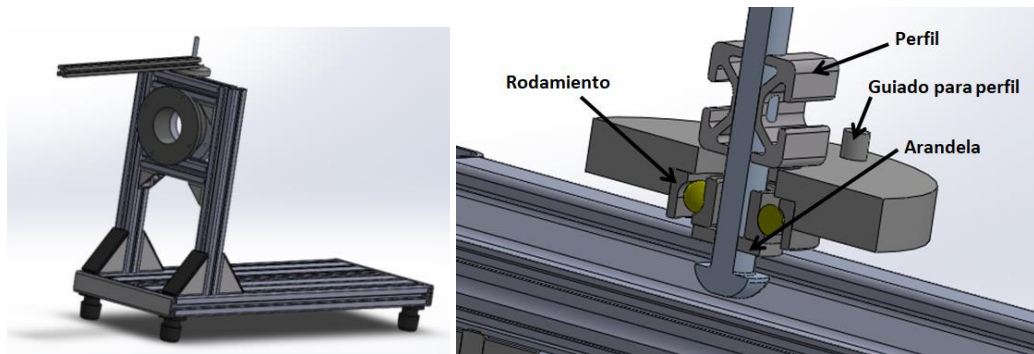


Figura 25. Primer cambio conceptual de la plataforma [D3]

En la tercera edición (Figura 26) se ha realizado un ranurado sobre un travesaño añadido que soporta el tornillo para poder mover el saliente que se le ha añadido. Este nuevo travesaño se ha añadido para poder bajar el conjunto inicial y mantener su configuración inicial. De esta manera, añadiendo un tornillo a este saliente se puede alinear la posición del mecanismo con la posición de la mano a ensayar. A partir de ahora el tornillo que soporta el mecanismo se desplazará sobre el voladizo añadido, de manera que también se pueda ajustar la posición longitudinal para el agarre de la misma (Figura 27). En la Figura 26 falta el medidor, una pieza que cubre el mecanismo además de reflejar la medición del ángulo al cual se realizará el ensayo, así como apoyar en la transmisión del par de giro del travesaño.

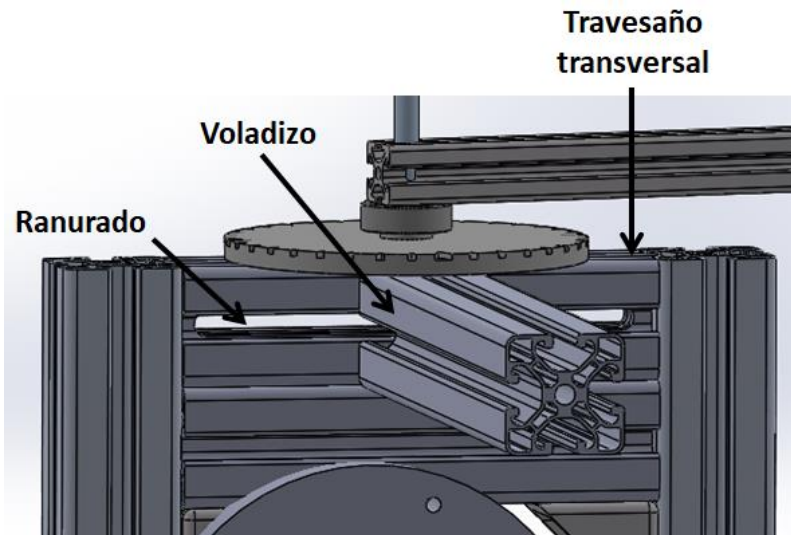


Figura 26. Tercer cambio conceptual de la plataforma[D5]

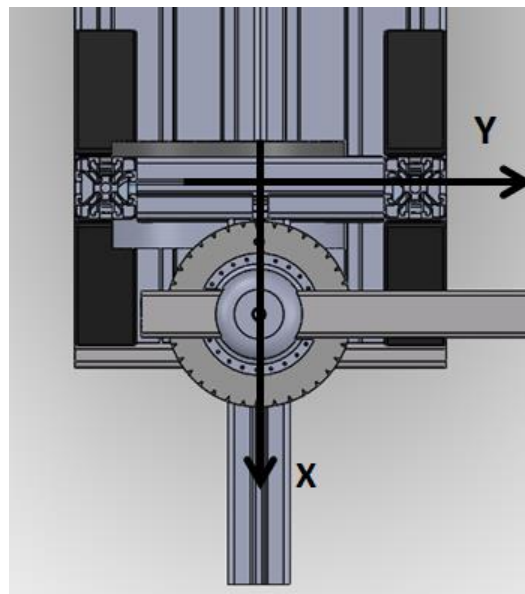


Figura 27. Eje de coordenadas

Se ha observado que el perfil que gira es muy frágil en la zona mecanizada para los agujeros donde se alojarán los rodamientos y el tornillo que actúa como eje. Por lo tanto se ha realizado una búsqueda para encontrar un perfil más robusto.

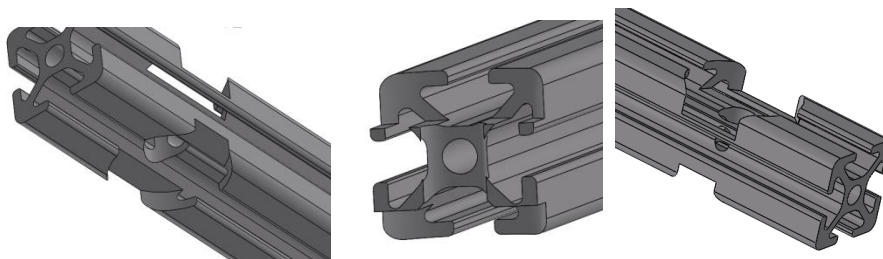
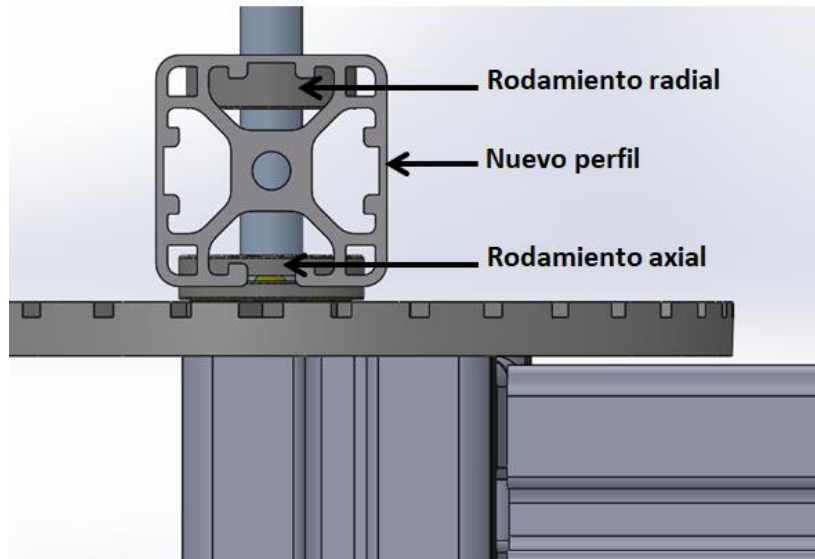


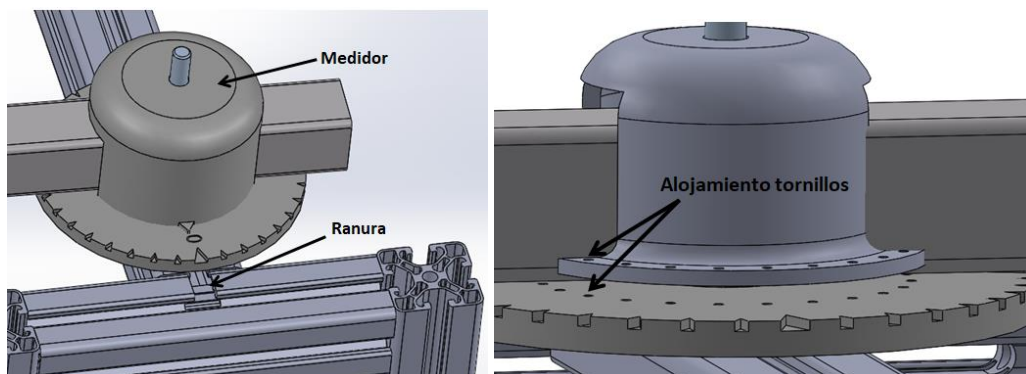
Figura 28. Problemas de robustez. Centro: vista de sección

En este caso (*Figura 29*) se ha optado por utilizar un perfil más ancho, de 30x30mm que solo tiene una pared con raíl. Además en su interior mantiene el sistema de nervios que robustecen su estructura. Se ha optado también por incorporar dos rodamientos como elementos de guiado. El rodamiento inferior se encargará de absorber la carga axial y el rodamiento superior se encargará de absorber los momentos. Se han eliminado los elementos de apoyo y transmisión mecanizando el perfil y así adaptando los elementos al mismo.



*Figura 29. Cuarto cambio conceptual de la plataforma [D6]*

Se le ha añadido el medidor que en la parte inferior incorpora 36 tornillos para conseguir las posiciones establecidas cada 10°. Para fijar la posición el medidor posee 36 agujeros donde se anclarán los tornillos.

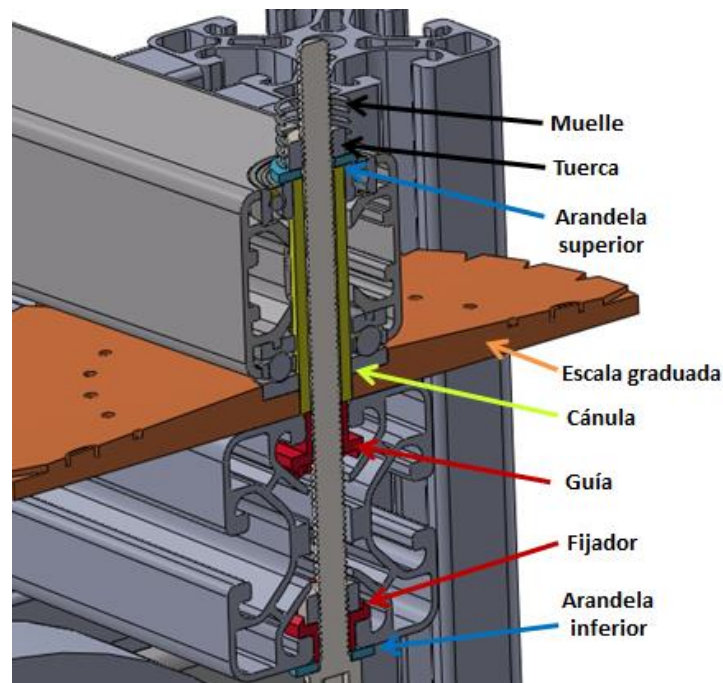


*Figura 30. Quinto cambio conceptual de la plataforma [D7]*

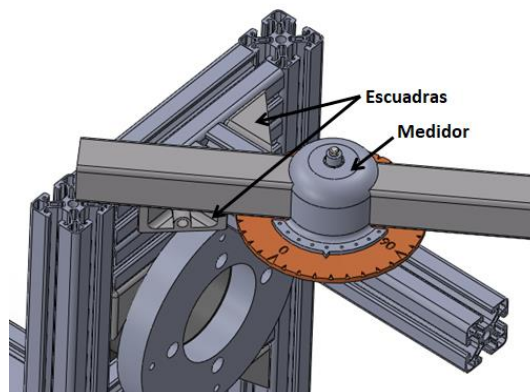
Finalmente el diseño del mecanismo es el mostrado en la *Figura 31*. Como se puede observar se ha eliminado el ranurado posterior que se iba a realizar para trasladar el saliente en función de la posición de la mano. Este ranurado se ha sustituido por dos escuadras (*Figura 32*) que se pueden desatornillar y mover cuando se precise ya que, de todos modos no será necesario trasladarlo demasiado en ese eje. El tornillo, de M6, ha pasado de encontrarse dentro del perfil saliente de debajo a atravesarlo por completo, lo que facilitará su apriete.

Los elementos rojos son dos contratuercas de fijación del vástago impresas por FDM. La pieza roja inferior, además de guiar, hace de intermediaria para formar un sistema de apriete de tuerca, independiente del apriete del resto de elementos de guiado que tiene sobre él. De esta manera el tornillo queda fijado. La pieza roja superior cumple más bien una función de centrado del mismo. Se trata de un tornillo con mucha esbeltez por lo que es necesario fijar bien su posición en varios puntos. La pieza amarilla es una cánula (torneada en aluminio) que hace de nexo entre el contacto del tornillo con los rodamientos y otras paredes que entran en contacto con él. Las dos arandelas están representadas de color azul y actúan como nexo entre elementos metálicos para evitar su desgaste. Sobre la arandela superior el conjunto queda sujetado por otra tuerca.

Por otro lado, sobre esta tuerca se encuentra un muelle. El muelle tiene la función de levantar el medidor cuando se vaya a girar el brazo. Además en la *Figura 32* se puede comprobar que el mecanizado del travesaño superior no se ha realizado puesto que es muy poco probable que se quiera adoptar esa posición de extremo.



*Figura 31. Mecanismo no visible del diseño final*



*Figura 32. Diseño final [D8]*



### 2.4.3 EVALUACIÓN DE DISEÑOS

Tras el análisis de las anteriores propuestas se ve que todas giran en torno al mismo concepto. Se trata de un proceso evolutivo que ha sufrido la máquina. Sin embargo, se va a tomar cada una como una propuesta independiente para así poder evaluar el cumplimiento de objetivos del mismo. Para ello se ha hecho una selección de los objetivos fundamentales y, posteriormente se evaluarán mediante un método de evaluación cualitativo (optimizables y deseos).

Para averiguar la solución óptima se realiza un método de evaluación cualitativo y cuantitativo mediante un sistema de puntuación según el grado de cumplimiento de los objetivos:

- 0 = no cumple el objetivo
- 1 = cumplimiento mínimo del objetivo
- 2 = cumple con el objetivo
- 3 = cumple con el objetivo y lo supera

Los objetivos a evaluar son los siguientes:

- Que los materiales sean fáciles de adquirir
- Que cumpla bien su función
- Que sea fácil de manejar
- Que tenga una estructura robusta
- Que los materiales sean fáciles de manipular
- Que sea de fácil fabricación
- Que sea fácil de ensamblar
- Que los materiales sean fáciles de mecanizar

<b>OBJETIVOS</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>	<b>D6</b>	<b>D7</b>	<b>D8</b>
Que los materiales sean fáciles de adquirir	2	2	2	2	2	2	2	<b>2</b>
Que cumpla bien su función	2	2	1	1	1	2	2	<b>3</b>
Que sea fácil de manejar	1	0	1	1	1	1	2	<b>2</b>
Que tenga una estructura robusta	2	2	1	1	1	2	2	<b>3</b>
Que los materiales sean fáciles de manipular	2	2	2	2	1	2	2	<b>2</b>
Que sea de fácil fabricación	1	0	2	2	2	2	2	<b>2</b>
Que sea fácil de ensamblar	1	2	2	2	2	2	2	<b>2</b>
Que los materiales sean fáciles de mecanizar	2	1	1	1	1	1	1	<b>1</b>
	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>17</b>

*Tabla 4. Comparativa de diseños*

Tras la evaluación y obtención de los puntos correspondientes por cada modelo se ha concluido que se desarrollará el último diseño ya que es el que mejor cumple los principales objetivos que se quieren reflejar.

## 2.5 DISEÑO DE DETALLE Y DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE

Respecto al resultado final obtenido tras varias etapas de brainstorming se va a detallar la serie de elementos que componen el diseño final del mecanismo de la pluma.

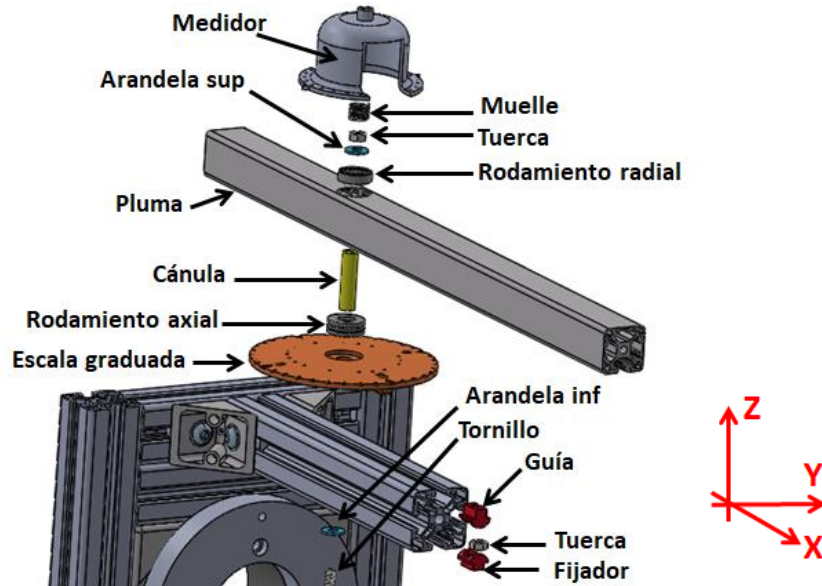


Figura 33. Vista explosionada del mecanismo

Como se muestra en la *Figura 33* el proceso de montaje es el siguiente.

En primer lugar, la tuerca va introducida en el interior de la contratuerca de fijación inferior, llamada en la *Figura 34* fijador (eje Z) y dicho conjunto, además de la guía se introducen a través de los raíles del voladizo (eje X-*Figura 34*). Por otro lado, se introduce el tornillo en la arandela inferior formando otro subensamblaje (*Figura 34-DCHA*). Una vez formado se introduce por el mecanizado del voladizo pasando por el interior del fijador y la tuerca además de por la guía. De este modo, gracias al apriete del tornillo con la tuerca se fijará la posición del tornillo.

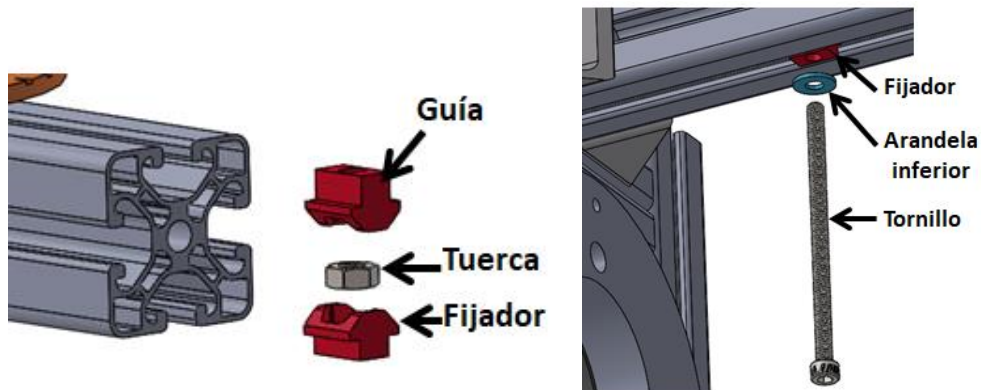
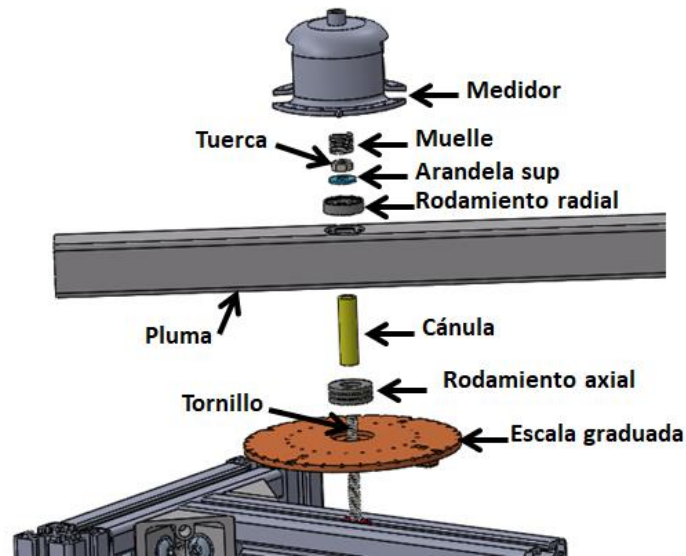


Figura 34. IZDA: subensamblaje fijador-tornillo-guía; DCHA: subensamblaje tornillo-arandela

Por otro lado, una vez montadas estas piezas, se pasa al montaje de los demás elementos, todos por el eje Z (*Figura 35*). Todos estos elementos se encuentran montados sobre el tornillo fijado anteriormente. En primer lugar se introduce la escala graduada en el tornillo, seguido del rodamiento axial y tras él la cánula. Posteriormente se introduce la pluma, seguida del rodamiento radial, después se introduce la arandela superior, la tuerca, el muelle y el medidor. Finalmente se añade una tuerca para fijar todo el conjunto en la posición deseada medida sobre la escala graduada de referencia, además de los tornillos que fijan la cubeta al medidor. Cuando se quiera cambiar la posición de la pluma basta con desatornillar la tuerca y los tornillos, saltará el muelle y se podrá cambiar la posición mediante el giro manual del medidor.



*Figura 35. Montaje de elementos sobre tornillo*

Los elementos exactos que componen el conjunto son los siguientes:

Para el cuerpo inicial del que se parte de perfilería ITEM [46]:

Unidades	Elemento	Nº referencia	Medidas	
4	Perfil 8, 40x40 E, natural	7.0.000.09	2 x 400 mm	2 x 160 mm
2	Tapetas 8 40x40, negro	0.0.627.16	-	
2	Perfil 8, 120x40 L, natural	0.0.416.66	180 mm	
2	Perfil 5, 40x16, natural	0.0.391.06	240 mm	
4	Kit escuadra 5 40x40	0.0.425.05	-	
4	Kit escuadra automática 8 80x80 Al	0.0.642.56	-	
4	Tapetas escuadra automática 8 80x80 negro, similar al Ral 9005	0.0.669.90	-	
4	Pie 8 PA	0.0.196.64	-	

*Tabla 5. Perfilería ITEM*

Para el nuevo diseño se habrá de pedir:

Unidades	Elemento	Nº referencia	Medidas	
2	Perfil 8, 40x40 E, natural	7.0.000.09	160 mm	210 mm
2	Kit escuadra 5 40x40	0.0.425.05	-	
1	Perfil 6, 30x30 3N L	0.0.478.27	500 mm	

*Tabla 6. Perfilera ITEM añadida*

Por otro lado se han seleccionado dos rodamientos del catálogo SKF [20]:

Unidades	Elemento	Nº referencia
1	Rodamiento axial de bolas de simple efecto	51100
1	Rodamiento rígido de bolas	627

*Tabla 7. Rodamientos SKF*

Otros elementos normalizados:

Unidades	Elemento	Referencia
3	Tuerca	M6
1	Dinamómetro	Pesola Medio Line 25N/0,2N [21]
1	Tornillo	M6
2	Arandelas	M6

*Tabla 8. Piezas Leroy Merlin*

Las arandelas deberán ser de diámetro interior 6mm y, las arandelas que se alojan junto a los rodamientos no podrán tener un diámetro exterior mayor que 18mm. Están hechas de acero.

El resto de elementos no normalizados se presentan a continuación:

Unidades	Elemento	Material
1	Medidor	PLA
1	Cánula	Aluminio
2	Casquillo	Bronce
1	Escala graduada	PLA
2	Contratuerca de fijación	PLA

*Tabla 9. Otros elementos*

Para la galga extensiométrica se cuenta con los siguientes elementos:

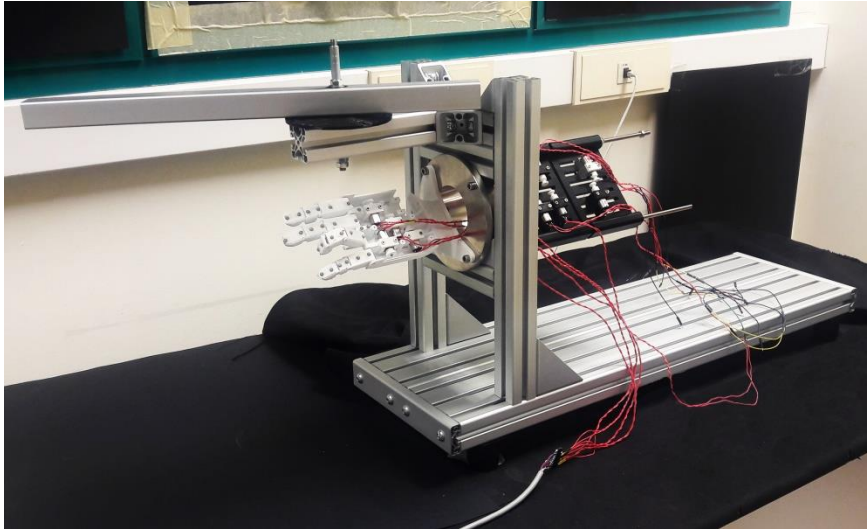
Unidades	Elemento	Material
1	Placa de 20x5x220 mm	Aluminio
1	Banda extensiométrica	Fe-Cr / Cr-Ni

*Tabla 10. Elementos para extensimetría*

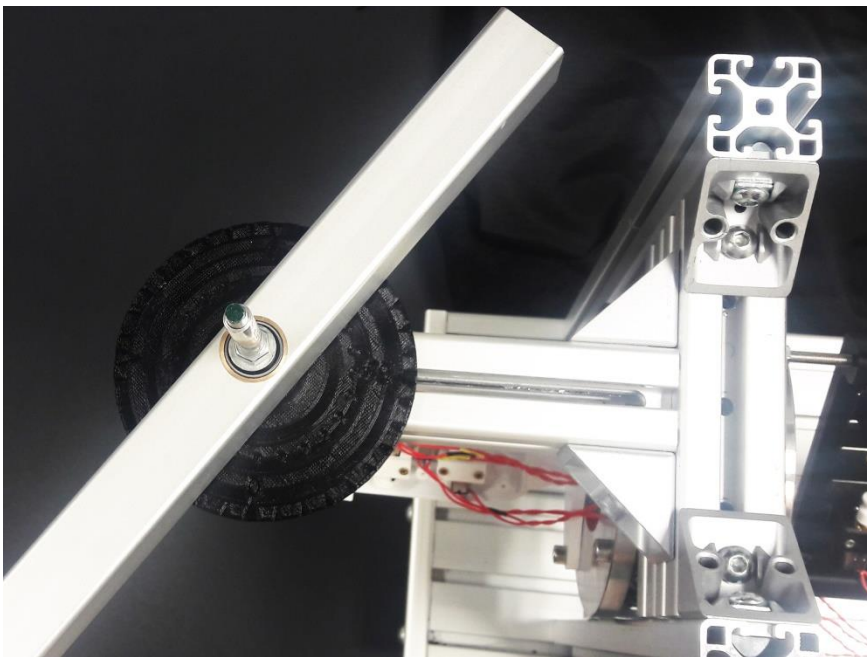
La medición mediante una banda extensiométrica , así como su montaje se encuentra explicado en el anexo 4.

## 2.6 ACABADO FINAL

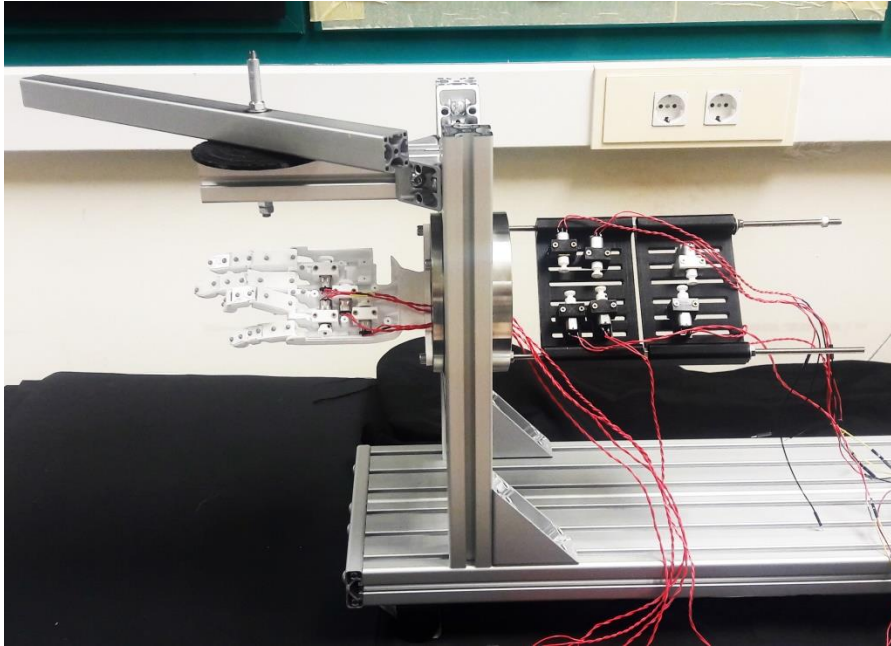
A continuación se muestra el resultado final tras la fabricación del banco de ensayos. Sin embargo, hay elementos que no se han adaptado aún, como el medidor y la galga extensiométrica.



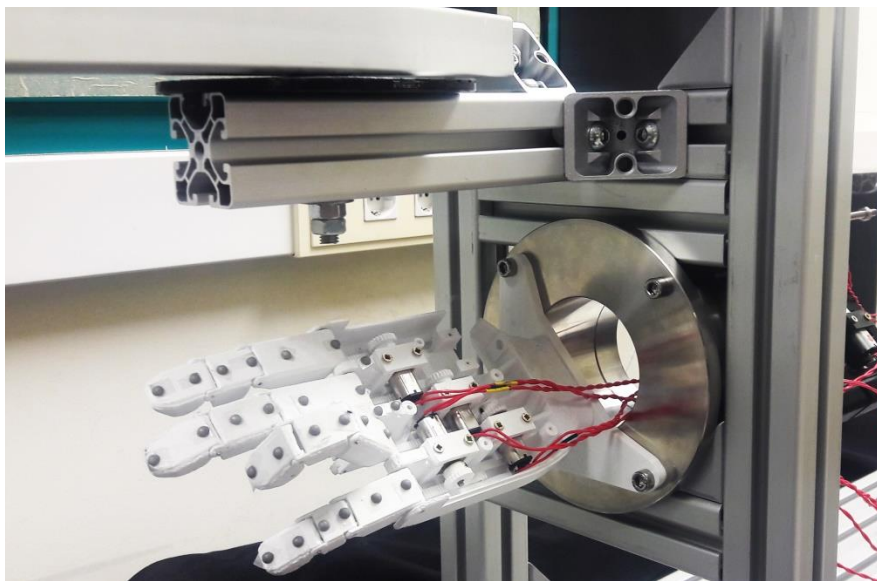
*Figura 36. Perspectiva del banco de ensayos final*



*Figura 37. Vista superior de la disposición de nuevos travesaños*



*Figura 38. Vista lateral del banco de ensayos*



*Figura 39. Vista alineación del eje de giro del mecanismo con las falanges*

## **2.7 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN**

Para poder obtener el resultado final se han realizado una serie de procesos de fabricación así como el mecanizado de las piezas.

Como se ha comentado inicialmente se parte de un diseño ya realizado. No obstante, para que los investigadores puedan reproducir el banco de ensayos es necesario saber de su fabricación y ensamblado.

Al partir de perfiles de Aluminio, inicialmente solo es necesario ensamblarlo de la manera adecuada mediante el uso de las escuadras (más adelante, en la *Figura 53* está descrito).

Para comenzar con el montaje del diseño se partirá de la impresión de las piezas necesarias obtenidas a partir de tecnología FDM. Para ello se ha utilizado la siguiente impresora (modelo Colido X3045):



Figura 40. Impresora Colido X3045

A través de esta impresora se han obtenido el medidor, las contratueras de fijación del vástago y el medidor.

Para la preparación se ha utilizado laca para que la superficie sobre la que se deposite el material no se adhiera a la pieza (Figura 41).



Figura 41. Preparación para impresión FDM

Estas impresiones se han realizado de PLA, a 55°C de temperatura de cama y una temperatura del extrusor de 205°C. Los tiempos de impresión han sido los siguientes:

Elemento	Duración
Medidor	4 horas
Contratueras de fijación del vástago	15 minutos = 0,25 horas
Cubeta	2 horas 30 min = 2,5 horas

Tabla 11. Duración impresiones FDM

En algunos diseños de estas piezas se han tenido que generar soportes, los cuales se deben intentar evitar. En el caso de la escala graduada, otra posible solución sería imprimir a parte los dos salientes que fijan el elemento al voladizo donde va montado y atornillarlo a la escala.

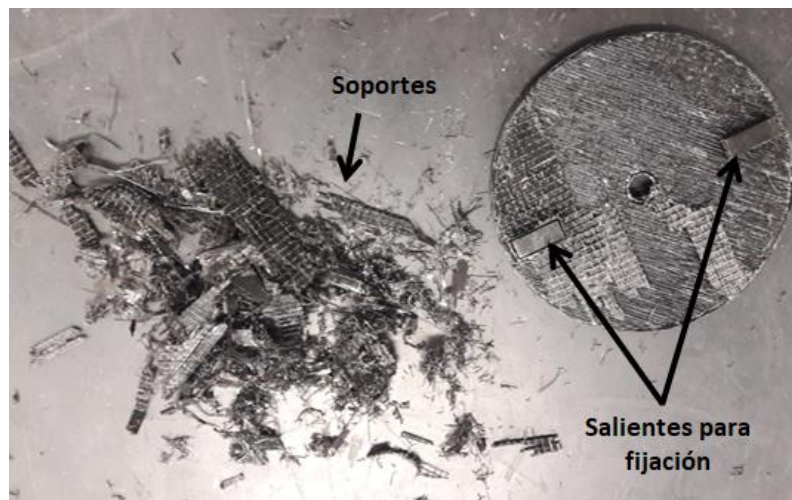


Figura 42. Problemática de soportes

Por otro lado se realizará el mecanizado de los perfiles de Aluminio así como otros elementos.

En primer lugar se mecanizará la pluma. Para ello se han de realizar una serie de operaciones en una máquina fresadora. En este caso se ha utilizado la siguiente máquina Milko 14:

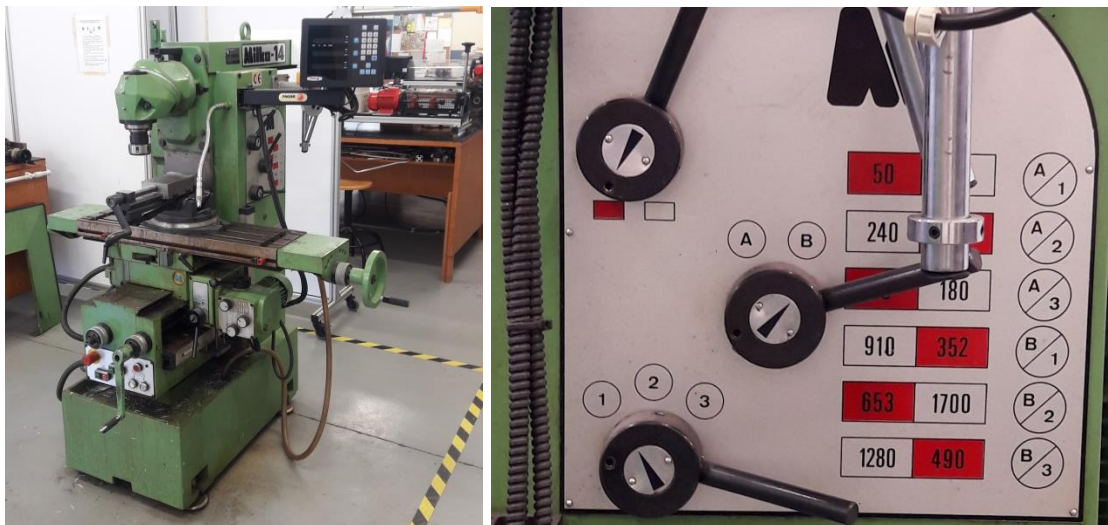


Figura 43. IZDA: Fresadora Milko14; DCHA: velocidades de la fresadora

En primer lugar se ha utilizado para realizar una operación de taladrado. Se ha utilizado una fresa de 10 mm de diámetro para generar un agujero pasante. Se ha realizado a una velocidad de 653 rpm y mediante avance manual.

Todos estos procesos de taladrado realizados con broca van precedidos de una operación de marcado de centros.



Tras realizar dicho taladrado se han realizado dos taladrados ciegos de mayor diámetro. Puesto que en el taller no se disponía de fresas de diámetros 22 y 24 mm se ha solucionado mediante el uso de una fresa de diámetro 25mm y se han mecanizado dos casquillos de diámetro exterior 25mm y diámetros interiores de 22 y 24mm, que se encargarán de cerrar el juego que se formaría entre el diámetro del agujero y el diámetro exterior de los rodamientos.

Las brocas utilizadas son de acero rápido (HSS) rectificadas de precisión.

En este caso, al tratarse de fresas de mayor diámetro se ha utilizado una velocidad de corte menor, siendo ahora de 352 rpm. Estas velocidades vienen normalizadas por la máquina (Figura 43 - DCHA).



Figura 44. IZDA: Operación de taladrado; DCHA: Resultado

Por otro lado, para introducir la galga extensiométrica se le ha realizado un agujero de diámetro 5mm (como el agujero central del perfil (Figura 45)) a la pletina y se ha atornillado al perfil de la pluma.

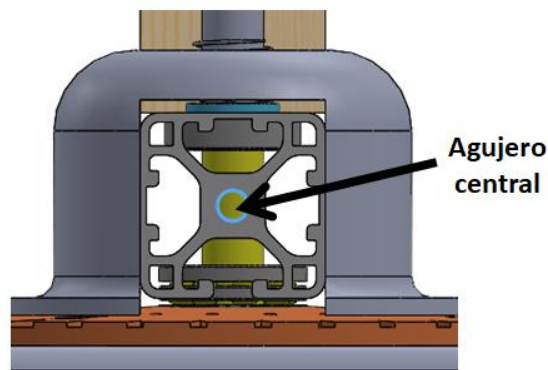


Figura 45. Agujero central del perfil

Además de mecanizar este perfil se ha mecanizado el voladizo en la fresadora. Se le realizará una operación de ranurado para que se desplace sobre él el tornillo con el mecanismo. Para ello se utiliza una fresa de 8mm de diámetro y se realizará la operación a una velocidad de corte de 653 rpm. Es necesario calibrar bien la fresadora inicialmente, puesto que la dimensión del ranurado coincide con el del raíl.

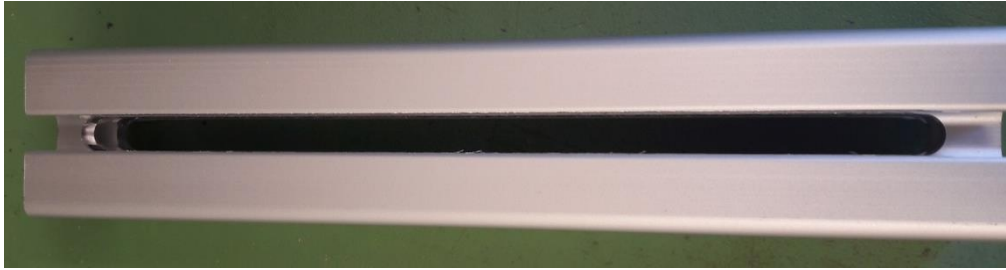


Figura 46. Ranurado en perfil del travesaño

Los casquillos de los que se ha hablado anteriormente se obtienen a partir de un torno como el mostrado en la Figura 47. En este torno también se obtendrá la cánula.



Figura 47. IZDA: Torno Pinacho; DCHA: Velocidades del torno

En primer lugar para obtener los casquillos se ha tomado un bruto de bronce. En primer lugar se le ha realizado una operación de refrentado, seguido de operaciones de cilindrado para desbastar la pieza hasta llegar al diámetro de 25mm deseado.

Tras realizar las operaciones en el exterior se procede a realizar las operaciones de mandrinado para obtener el agujero interior. Para ello se ha realizado, en primer lugar una operación de taladrado con una broca de 8mm, precedido de un marcado de centros. Tras ello se ha realizado una operación de retaladrado. En una de las cánulas la operación de retaladrado ha sido de 22mm y en la otra de 24mm. Finalmente se ha realizado una operación de tronzado para separar el bruto de la pieza final (Figura 48 - DCHA). Como acabado final se han limado sus bordes para eliminar la presencia de pequeñas rebabas.

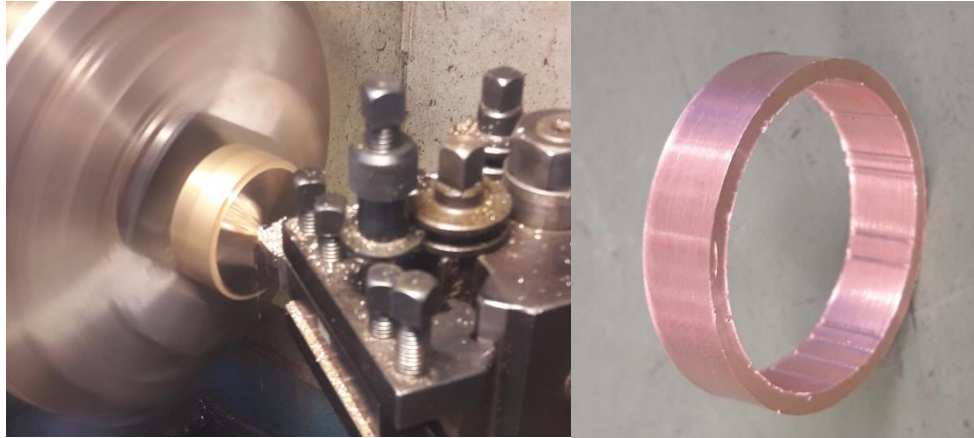


Figura 48. IZDA: Operación de refrentado en casquillo; DCHA: Casquillo

Una vez obtenidos los casquillos se ha mecanizado la cánula en un bruto de Aluminio. En primer lugar se ha serrado dicha varilla de manera manual puesto que su longitud inicial era bastante notoria (Figura 49 - IZDA). Se ha trabajado con un rango de velocidades de corte de 265 y 530 rpm.

En segundo lugar se ha realizado una operación de refrentado. Tras la operación de refrentado se ha realizado un cilindrado para obtener el diámetro de 10 mm deseado. Tras ello se ha pasado a realizar las operaciones en el interior del bruto.

En primer lugar se ha realizado un taladrado con una broca de 5,5mm, seguido de un retaladrado de 8mm que es su dimensión final. Por último se ha realizado una operación de tronzado.

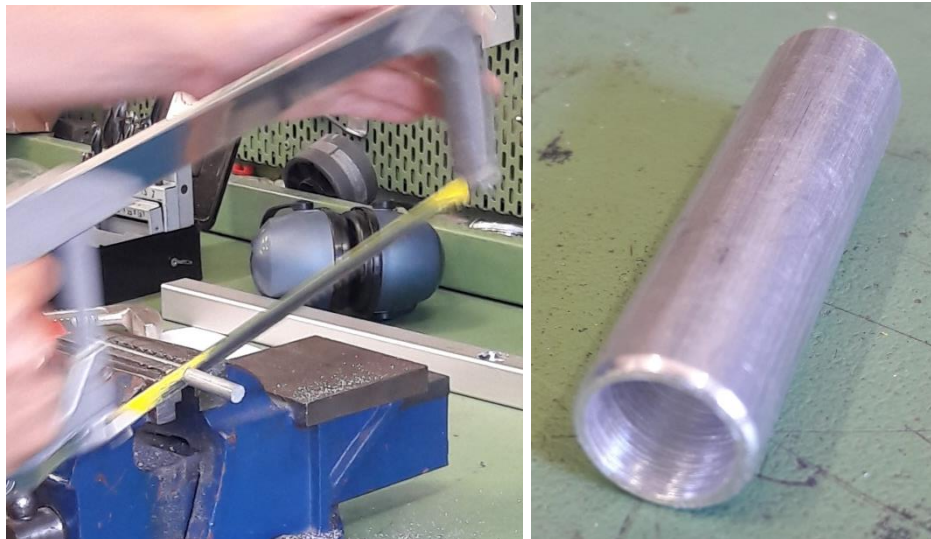
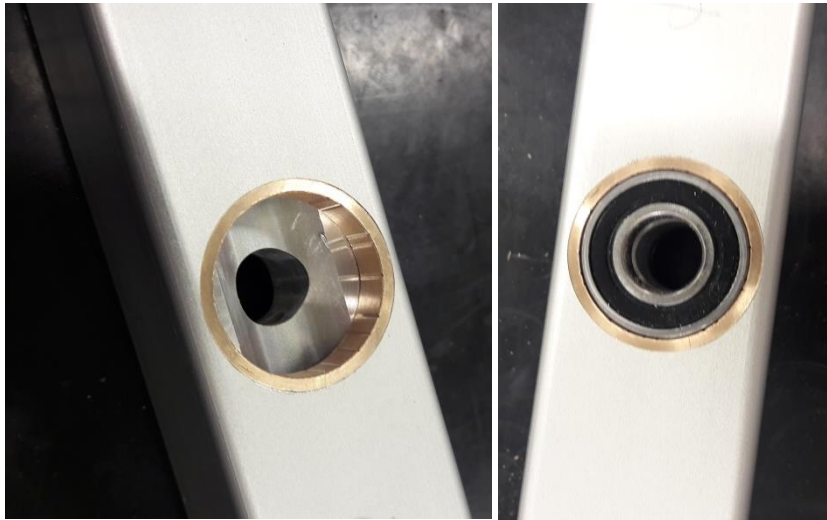


Figura 49. IZDA: Operación de serrado. DCHA: Cánula mecanizada

El montaje de la galga extensiométrica se halla descrito en el anexo 4.

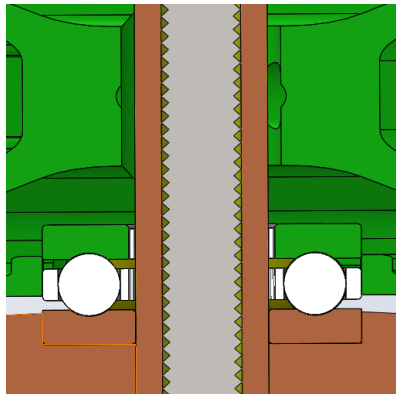
Una vez obtenidas las piezas se procede a su ensamblaje.

En primer lugar se han introducido los casquillos en los agujeros mecanizados de 25mm (*Figura 50 - IZDA*). Puesto que estos elementos van introducidos creando interferencia entre sí se ensamblará usando una maza de goma.



*Figura 50. IZDA: Casquillo insertado. DCHA: Rodamiento radial insertado*

Tras introducir los casquillos se introducen los rodamientos (*Figura 50 - DCHA*). En el caso del rodamiento axial hay que tener en cuenta que los diámetros interiores de las pistas de rodadura que lo componen no tienen la misma dimensión. Por lo tanto, ha de observarse que la pista asociada al elemento móvil (pluma) no tenga interferencia con la cánula fija.



*Figura 51. Parte fija: elementos en naranja. Parte móvil: elementos en verde*

Por otro lado se realizará el subensamblaje de las contratuercas de fijación del vástago con el voladizo y el tornillo como se explica en el apartado 2.5. En primer lugar se introducirá la arandela dentro del tornillo. Tras ello se introduce la tuerca dentro de la contratuerca de fijación que ejercerá de fijador. Después se introduce el subconjunto en el rail inferior del voladizo y se pasa el vástago por el agujero que posee este elemento. Sin que el tornillo cruce del todo el voladizo se introduce la otra contratuerca que ejerce de guía en el rail superior, y se hace pasar el tornillo por el mismo agujero.

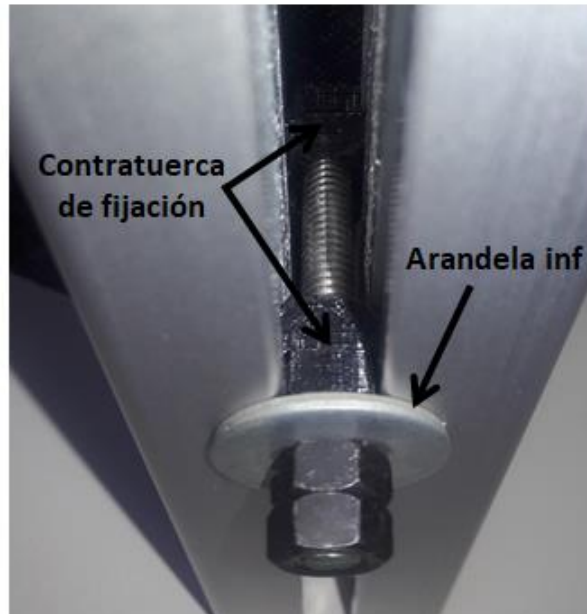


Figura 52. Vista inferior del ensamblaje sobre el voladizo

Una vez realizados estos pasos, se introducirá la escala graduada en el tornillo, fijando su posición en el voladizo mediante los salientes para fijación que incorporan en la parte inferior de la pieza. Sobre la escala graduada se puede introducir el anillo que lleva los elementos rodantes y el anillo de diámetro exterior 24mm del rodamiento axial, alojándose en el hueco que posee la escala para dichos elementos.

Tras ello se puede introducir el subconjunto inicial en el vástago, formando así el mecanismo diseñado inicialmente. Para fijar su posición se añade la arandela superior y se ajusta la tuerca. Una vez ajustada la tuerca se introducirá un muelle y tras la colocación del mismo se introducirá la cubeta que será necesario fijar a la escala mediante el uso de tornillos.

Por otro lado, una vez finalizado el subensamblaje del mecanismo se unirán los travesaños para formar el eje de coordenadas explicado en el apartado **¡Error! No se encuentra el origen e la referencia.** Análisis de Soluciones.

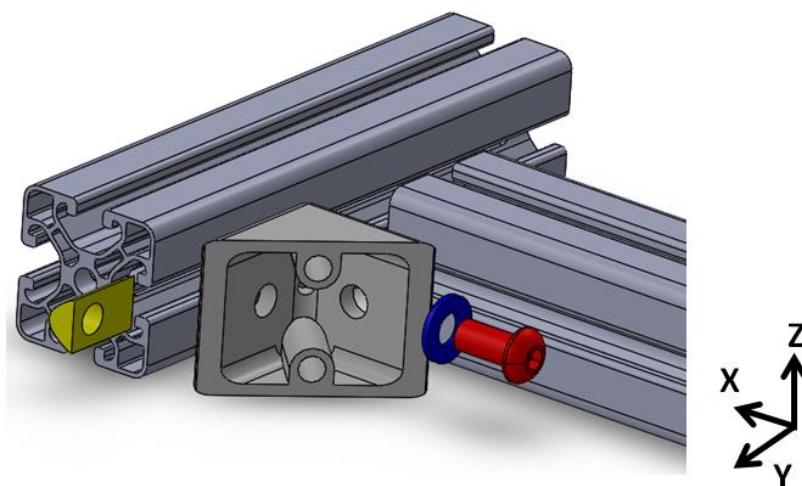
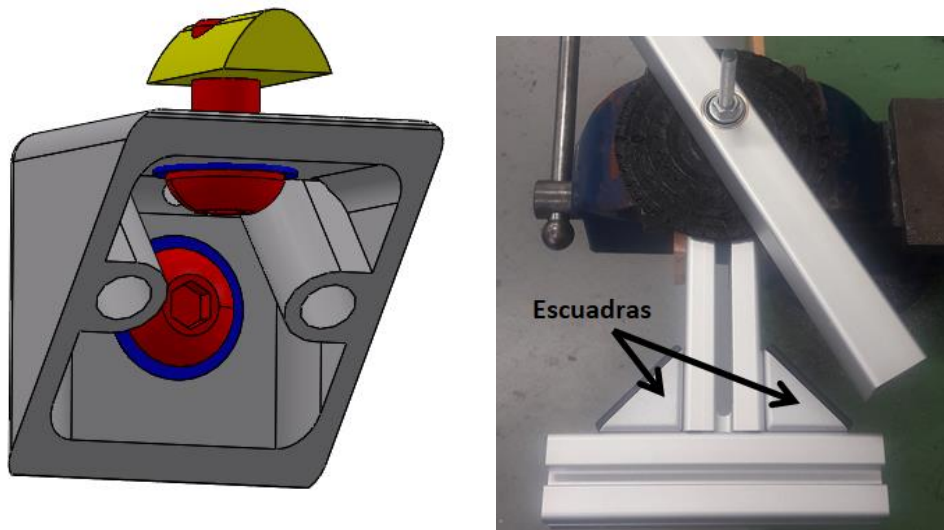


Figura 53. Montaje interior de una escuadra

Se puede comprobar en la *Figura 53* el montaje de una escuadra. Los elementos que aparecen con color en la imagen están duplicados en la realidad, puesto que debe haber dos amarres, tanto por el agujero de la escuadra por el cual se muestra el montaje como por el perpendicular a él, en el eje Y (*Figura 54*).

La pieza amarilla, que posee un agujero pasante roscado, se introduce por el hueco lateral del travesaño. Los ejes de la escuadra y esta pieza se hacen coincidir en el eje X (para el otro amarre en el eje Y). Para fijar la posición se alinea también la arandela de color azul y posteriormente se rosca todo con el tornillo representado de color rojo fijando mediante el roscado ambas piezas a ensamblar.

Finalmente se añade una tapeta de color negro para ocultar el interior de la escuadra.



*Figura 54. Elementos de fijación de la escuadra*

## 2.8 PLANIFICACIÓN

La planificación de un proyecto sirve para finalizar su elaboración en el tiempo requerido con los recursos disponibles. A partir de los objetivos del proyecto, se definen las tareas a seguir en el proceso de diseño y fabricación del banco de ensayos.

En este caso se utilizará el método de Gantt para la planificación. Este método consiste en realizar una tabla donde se exponen las tareas, su duración y los operarios que la realizarán y posteriormente se elaborará un diagrama que visualice el proceso.

Según la planificación realizada, el proyecto tendrá una duración de 41 días. Considerando una jornada de 6 horas diarias y 30 semanales.

La previsión está compuesta para un único banco de ensayos.

Nº TAREA	TAREA	DURACIÓN
1	Investigación y lectura de artículos	15 días
2	Diseño de mecanismo	10 días
3	Diseño del resto de componentes	5 días
4	Pedir rodamiento	1 día
5	Pedir perfilera de Aluminio	3 días
6	Pedido de otros elementos	1 día
7	Impresión de elementos mediante FDM	6,75 horas = 1 día
8	Mecanizado de perfiles	2 días
9	Montaje galga extensiométrica	1 día
10	Montaje de elementos	2 días

Tabla 12. Lista de tareas, tiempos y responsable

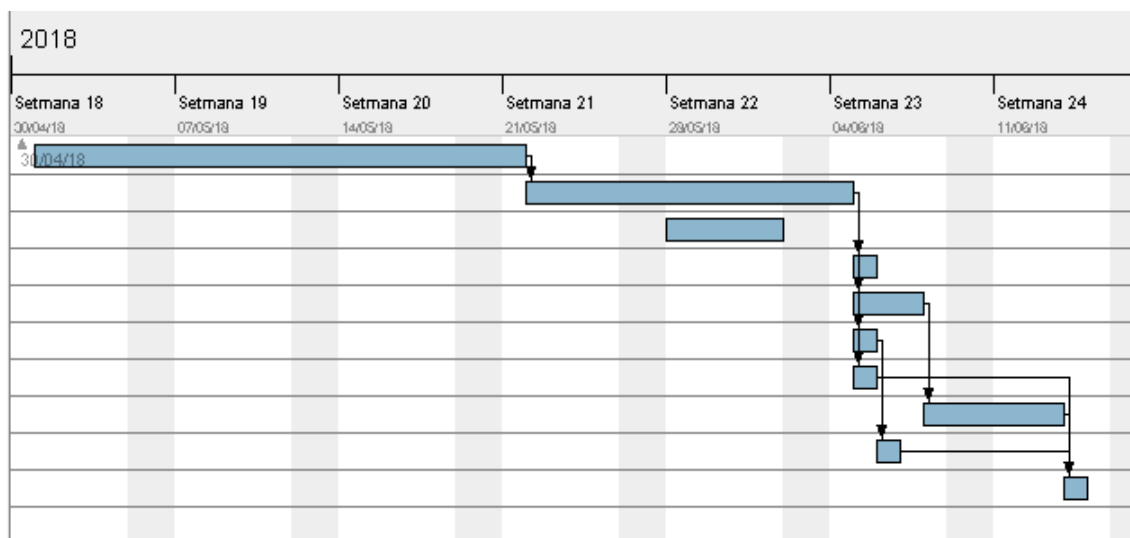


Figura 55. Diagrama Gantt

## REFERENCIAS

- [1] <https://es.wikipedia.org/wiki/Amputaci%C3%B3n>
- [2] <https://universidadisabelimiembrosuperior.wordpress.com/2014/12/09/amputaciones-miembros-superiores/>
- [3] <http://dle.rae.es/?id=US6Q9JZ>
- [4] <https://es.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%B3tesis>
- [5] *Diccionario de Google, no refiere página*
- [6] <http://lema.rae.es/dpd/srv/search?key=mano>
- [7] <http://www.shap.ecs.soton.ac.uk/files/protocol.pdf>
- [8] <http://www.shap.ecs.soton.ac.uk/>
- [9] <http://www.swisswuff.ch/images/adl/adl-pdf/sollermann1995handfunctiontest.pdf>
- [10] [https://www.physio-pedia.com/Box\\_and\\_Block\\_Test](https://www.physio-pedia.com/Box_and_Block_Test)
- [11] [https://en.wikipedia.org/wiki/Purdue\\_Pegboard\\_Test](https://en.wikipedia.org/wiki/Purdue_Pegboard_Test)

- [12]<https://www.neurorhb.com/blog-dano-cerebral/valorar-la-destreza-manual-desde-la-terapia-ocupacional-test-purdue-pegboard/>
- [13][https://www.eng.yale.edu/grablab/pubs/Belter\\_BIOROB2016.pdf](https://www.eng.yale.edu/grablab/pubs/Belter_BIOROB2016.pdf)
- [14]<http://www.swisswuff.ch/tech/?p=3043>
- [15]<http://oedk.rice.edu/Sys/PublicProfile/29817503/PhotoAlbums/52398094>
- [16][https://ws680.nist.gov/publication/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=917697](https://ws680.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=917697)
- [17]<http://enablingthefuture.org/>
- [18]<http://buildinprogress.media.mit.edu/projects/2060/steps>
- [19]<https://es-product.item24.com/>
- [20]<http://www.skf.com/es/products/index.html>
- [21]<https://www.raig.com/tienda/medicion-y-precision/dinamometros/dinamometro-pesola-serie-medio-line-3n-6n-10n-y-25n>



## CAPÍTULO 3. Cálculos

### 3.1 INTRODUCCIÓN

A continuación se detallan los cálculos realizados para la elección de diferentes elementos para mantener estable el conjunto. Dependiendo de los pares de fuerza obtenidos, así como las fuerzas que actúan en el conjunto se seleccionará un tipo de rodamientos, así como la masa para equilibrar el contrapeso del brazo que soporta gran parte del mecanismo.

### 3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el grupo de elementos aparecen diferentes fuerzas que se deben analizar y calcular.

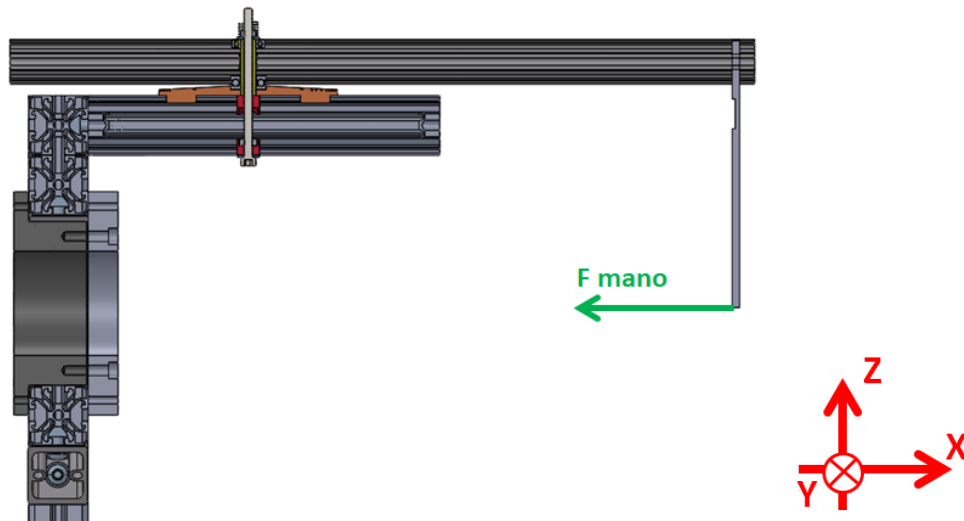


Figura 56. Planteamiento del problema

La fuerza exterior que actúa sobre el banco de ensayos es la fuerza ejercida por la mano, la cual generará un par torsor sobre la sección del tornillo, además de un par flector que sufrirá el tornillo además del mecanismo montado en esa misma sección.

### 3.3 CÁLCULO DEL CONTRAPESO

Para solucionar el problema del momento flector se ha optado por colocar un contrapeso en el lado izquierdo de la pluma. En la *Figura 57* se analizan las fuerzas internas de la pluma y el dinamómetro. La parte más sensible se encuentra en el punto O, situándose este en el centro de dicha sección de la pluma. Gracias a este análisis se obtendrá el peso correspondiente al contrapeso.

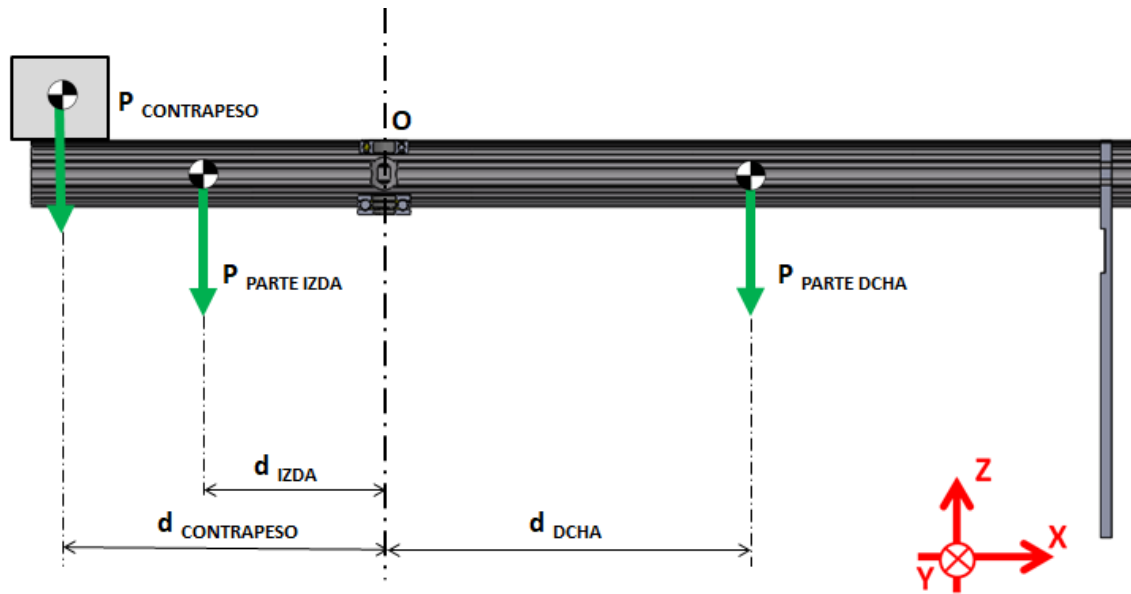


Figura 57. Análisis de fuerzas internas de la pluma

⊙ → Símbolo Centro de masas

Gracias al programa de Solid Works se ha podido extraer la masa del perfil en cada sección:

$$\begin{aligned}
 m_{PLUMA\ IZDA} = 57,40\ g & \longrightarrow P_{PARTE\ IZDA} = 0,057 \cdot 9,81 = 0,563\ N \\
 m_{PLUMA\ DCHA} = 123,42\ g & \longrightarrow P_{PARTE\ DCHA} = 0,123 \cdot 9,81 = 1,211\ N
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, los valores con los que se cuenta son los siguientes:

$P_{PARTE\ IZDA}$	0,563 N
$P_{PARTE\ DCHA}$	1,211 N
$d_{IZDA}$	80 mm
$d_{DCHA}$	170 mm
$d_{CONTRAPESO}$	140 mm

Tabla 13. Valores para cálculo de la masa del contrapeso

Para obtener el valor del peso del contrapeso se aplicarán equilibrio de momentos en el punto O, respecto al eje Y (Figura 57).

$$\sum M_Y = 0 \quad (1)$$

De donde se resuelve

$$-P_{CONTRAPESO} \cdot d_{CONT} - P_{PARTE\ IZDA} \cdot d_{IZDA} + P_{PARTE\ DCHA} \cdot d_{DCHA} = 0 \quad (2)$$

$$P_{CONTRAPESO} = \frac{P_{PARTE\ DCHA} \cdot d_{DCHA} - P_{PARTE\ IZDA} \cdot d_{IZDA}}{d_{CONTRAPESO}} \quad (3)$$

$$P_{CONTRAPESO} = \frac{1,211 \cdot 170 - 0,563 \cdot 80}{140} = 1,149 \text{ N} \quad (4)$$

$$P_{CONTRAPESO} = 1,149 \text{ N}$$

Por lo tanto, el contrapeso deberá tener una masa de:

$$m_{CONTRAPESO} = \frac{P_{CONTRAPESO}}{9,81} = \frac{1,149}{9,81} = \mathbf{0,117 \text{ kg}} \quad (5)$$

Tras estos cálculos se comprueba que una posible dimensión del contrapeso, el cual va a ser un prisma de acero, es: **5 x 3 x 1 cm**

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{0,117 \text{ kg}}{7800 \text{ kg/m}^3} \quad (6)$$

$$v = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 = 15 \text{ cm}^3$$

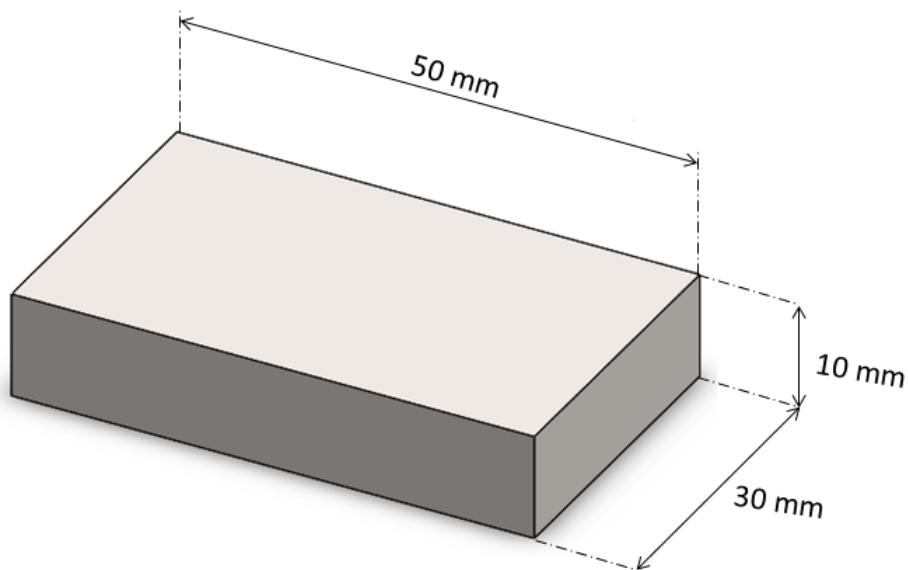


Figura 58. Dimensiones contrapeso de acero

### 3.4 CÁLCULO DE REACCIONES EN LOS RODAMIENTOS

Como anteriormente se ha descrito, la zona más débil de perfil está donde se encuentra alojado el mecanismo. Hay una función de guiado única, que es que la pluma gire. En esta sección van alojados rodamientos que actúan como elementos de guiado: uno de ellos axial y se encargará de absorber las cargas axiales (y una parte de los momentos); el otro rodamiento es radial y se encargará de absorber los momentos.

En el caso del rodamiento axial se ha escogido un rodamiento axial de bolas de simple efecto. El diámetro interior no es constante en todas sus secciones. Uno de ellos es de un diámetro de 10mm y las otras dos anillas (una es la que aloja los elementos rodantes) son de 11mm. El diámetro de 10mm será el que permanecerá fijo, es decir, desde el cual la carga se percibirá como variable y se situará debajo del todo. Los otros dos anillos quedarán sueltos permitiendo así el giro relativo entre ellos, y en el la carga se percibirá como fija.

Para las reacciones que se dan en su sección y, por lo tanto tendrán que soportar se establece el siguiente análisis de fuerzas.

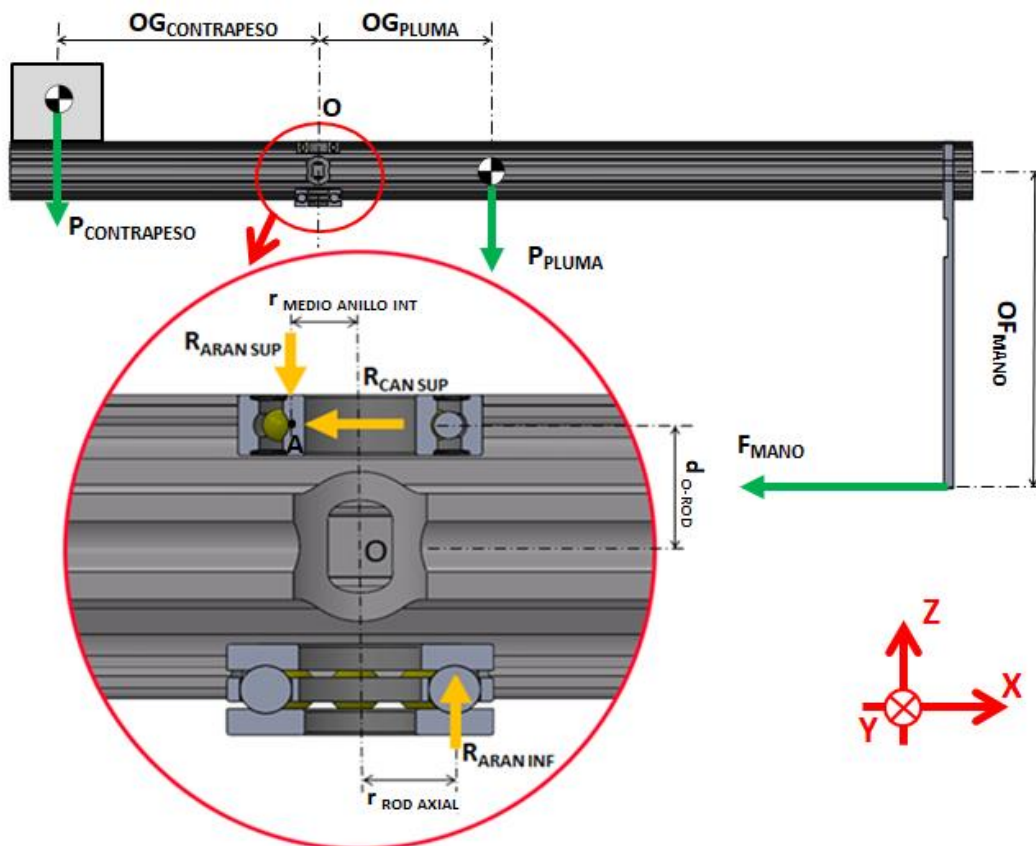


Figura 59. Análisis de reacciones en rodamientos

Los valores con los que se cuenta son los siguientes:

$r_{MEDIQANILLO INT}$	6 mm
$d_{O ROD}$	12 mm
$r_{ROD AXIAL}$	9,5 mm
$P_{CONTRAPESO}$	1,149 N
$OG_{CONTRAPESO}$	140mm
$P_{PLUMA}$	1,774 N
$OG_{PLUMA}$	89,98 mm
$F_{MANO}$	200 N
$OF_{MANO}$	200 mm

Tabla 14. Valores utilizados para el cálculo de reacciones en la sección de rodamientos

Obtenidos estos valores por los siguientes cálculos:

Donde se ha empleado que:

$$r_{MEDIQ ANILLO INT} = d_a/2 = 6 \text{ mm}$$

$$d_{O-ROD} = 30/2 - B/2 = 27 \text{ mm}$$

(Extraídos los valores B y  $d_a$  del Anexo del rodamiento 61900)

$$r_{ROD AXIAL} = \frac{(D/2 - D_1/2)}{2} + \frac{D_1}{2}$$

(Extraídos el valor D y  $D_1$  del Anexo del rodamiento 51100)

$$P_{CONTRAPESO} = 1339,83 \text{ N}$$

$$OG_{CONTRAPESO} = 120 \text{ mm}$$

$$P_{PLUMA} = 1773,84 \text{ N}$$

$$OG_{PLUMA} = l_{PLUMA}/2 - d_{PLUMA-TORNILLO} = 250 - 160,02 = 89,98 \text{ mm}$$

$$F_{MANO} = 200 \text{ N}$$

$$OF_{MANO} = l_{GALGA} - h_{PLUMA}/2 = 180 - 15 = 165 \text{ mm}$$

Estas fuerzas se pueden resolver utilizando las ecuaciones de la estática.

$$\sum F_X = 0 \quad (7)$$

$$\sum F_Z = 0 \quad (8)$$

$$\sum M_{Y(A)} = 0 \quad (9)$$

Estimando que la máxima fuerza que pueda hacer una mano protésica de bajo coste es de 200N, de (7) se obtiene:

$$-F_{MANO} - R_{CAN SUP} = 0 \quad (10)$$

$$R_{CAN SUP} = 200 N = \mathbf{0,2 kN} \quad (11)$$

De (8) se tiene que:

$$-R_{ARAN SUP} - P_{CONTRAPESO} - P_{PLUMA} + R_{ARAN INF} = 0 \quad (12)$$

$$R_{ARAN SUP} = R_{ARAN INF} - P_{CONTRAPESO} - P_{PLUMA} \quad (13)$$

Finalmente, desarrollando (9):

$$\begin{aligned} &R_{ARAN INF} \cdot (-r_{MEDIO ANILLO INT} + r_{ROD AXIAL}) + \\ &P_{CONTRAPESO} \cdot (OG_{CONTRAPESO} - r_{MEDIO ANILLO INT}) \\ &- P_{PLUMA} \cdot (OG_{PLUMA} + r_{MEDIO ANILLO INT}) \\ &- F_{MANO} \cdot (OF_{MANO} + d_{O-ROD}) = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

$$R_{ARAN INF} = \frac{1,149 \cdot (140 - 5,95) + 1,774 \cdot (89,98 + 5,95) + 200 \cdot (200 + 12)}{(8,75 + 5,95)} \quad (15)$$

$$R_{ARAN INF} = 2906,408 N = \mathbf{2,9 kN} \quad (16)$$

Sustituyendo el valor (16) en (13) se obtiene:

$$R_{ARAN SUP} = 2906,408 - 1,149 - 1,774 = 2903,485 = \mathbf{2,9 kN} \quad (17)$$

Una vez obtenido dicho valor se sustituye en (11) y:

$$R_{CÁNULA INF} = 200 + 282,95 = \mathbf{482,95 N} \quad (18)$$

Por lo tanto, se comprueba que los rodamientos escogidos soportan las fuerzas que sufrirán. En los anexos 2 y 3 se detallan las capacidades de carga de cada rodamiento.

Para el rodamiento radial,  $C_o = 1,27 \text{ kN}$  (capacidad de carga estática, en Anexo 3), por lo que visto que el valor (11)  $R_{CAN SUP} = 0,2 \text{ kN} \ll C_o = 1,27 \text{ kN}$ , el rodamiento sería apto para realizar su función.

Por otro lado, el rodamiento axial  $C_o = 12,2 \text{ kN}$  (obtenido en Anexo 2), y el valor que debe soportar, obtenido en (16)  $R_{ARAN INF} = 2,9 \text{ kN} \ll C_o = 12,2 \text{ kN}$  posee también un valor muy inferior, por lo que soportará las fuerzas aplicadas.





# CAPÍTULO 4. Pliego de condiciones

## 4.1 OBJETO DEL PLIEGO DE CONDICIONES

El presente pliego de condiciones tiene por objeto exponer las especificaciones técnicas de las piezas que componen este proyecto, su fabricación, los materiales a utilizar para que el proyecto se desarrolle sin malas interpretaciones.

## 4.2 CONDICIONES LEGALES

En este apartado del pliego, se tratan las normas y condiciones legales que se consideran de necesaria aplicación para el proyecto desde el punto de vista de los diseñadores.

- LEY 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- REAL DECRETO 39/1997, de 17 de enero para la prevención de riesgos laborales.
- REAL DECRETO 186/1997, de 14 de abril por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en el lugar de trabajo.
- REAL DECRETO 1801/2003, de 26 de diciembre, sobre seguridad general de los productos.
- UNE 151001:2011. Mantenimiento. Indicadores de mantenibilidad de dispositivos industriales. Definición y evaluación.
- Certificación ISO 14001 Sistemas de Gestión Ambiental.

Aunque este proyecto no se vaya a comercializar se ha considerado interesante que cumpla con el marcado CE. El marcado CE es el proceso mediante el cual el fabricante/importador informa a los usuarios y autoridades competentes de que el equipo comercializado cumple con la legislación obligatoria en materia de requisitos esenciales.

## 4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

En el presente proyecto aparecen diferentes tipos de material, según su función y fabricabilidad.

- Perfilería de Aluminio.

Se ha utilizado este material ya que es fácil trabajar con estos perfiles para poder generar estructuras como esta. Su principal aplicación ha sido en la generación de la estructura inicial, así como la pluma y la cánula. El aluminio es un material de baja densidad y no tiene un coste muy elevado con respecto a otros materiales y su posterior mecanizado.

No obstante, la perfilería no está fabricada de aluminio puro. Se trata de una aleación, concretamente Al Mg Si 0,5 F 25 (Referencia 3.3206.72.)

Una aleación de aluminio se obtiene a partir de aluminio y otros elementos (generalmente cobre, zinc, manganeso, magnesio o silicio). Forman parte de las llamadas aleaciones ligeras, con una densidad mucho menor que los aceros, pero no tan resistentes a la corrosión como el aluminio puro, que forma su capa de alúmina (óxido de aluminio). Las aleaciones de aluminio tienen como principal objetivo mejorar la dureza y resistencia del aluminio, que es en estado puro un metal muy blando.

Desde el punto de vista físico, el aluminio puro posee una resistencia muy baja a la tracción y una dureza escasa. En cambio, unido en aleación con otros elementos, el aluminio adquiere características mecánicas muy superiores.

- PROPIEDADES GENERALES

Densidad	2,5e3 – 2,9e3	Kg/m <sup>3</sup>
Precio	1,98 – 2,27	€/kg

Tabla 15. Propiedades generales de aleaciones de Aluminio

- PROPIEDADES MECÁNICAS

Módulo de Young	68 - 82	GPa
Límite elástico	30 – 500	MPa
Resistencia a tracción	58 – 550	MPa
Elongación	1 – 44	% strain
Dureza Vickers	12 – 151	HV
Resistencia a fatiga a 10 <sup>7</sup> ciclos	21,6 – 157	MPa
Tenacidad a fractura	22 - 35	MPa-m <sup>0,5</sup>

Tabla 16. Propiedades mecánicas de aleaciones de Aluminio

• Ácido poliláctico (PLA).

La polilactida, PLA, es un termoplástico biodegradable derivado del ácido láctico natural a partir de maíz o la leche. Se asemeja a poliestireno claro, y proporciona una buena estética (brillo y claridad), pero es duro y quebradizo por lo que se debe aditivar, con plastificantes, para ampliar su rango de uso. Puede ser procesado como la mayoría de los termoplásticos en fibras, películas, termoformado o moldeado por inyección.

El PLA es uno de los materiales más utilizados para imprimir piezas mediante tecnología FDM. Se trata de una bobina que suministra hilo del mismo, fundiéndose en el cabezal de la impresora.

- PROPIEDADES GENERALES

Densidad	1,24e3	Kg/m <sup>3</sup>
Precio	2,34 – 3,2	€/kg

Tabla 17. Propiedades generales del PLA

- PROPIEDADES MECÁNICAS

Módulo de Young	3,3, - 3,6	GPa
Módulo a cortante	1,2 – 1,29	GPa
Módulo en volúmen	5,7 – 6,3	GPa
Coefficiente de Poisson	0,38 – 0,4	
Límite elástico	55 - 72	MPa
Resistencia a tracción	47 - 70	MPa
Resistencia a compresión	66 - 86	MPa
Elongación	3 - 6	% strain
Dureza-Vickers	17 - 22	HV
Resistencia a fatiga para 10 <sup>7</sup> ciclos	22,2 – 27,7	MPa
Tenacidad a fractura	3 - 5	MPa-m <sup>0,5</sup>
Coefficiente de pérdida mecánica	0,06 – 0,09	

Tabla 18. Propiedades mecánicas del PLA

Los materiales han sido elegidos en este proyecto a criterio del autor, en función del diseño inicial e intentando facilitar la fabricación de los nuevos elementos. Estos materiales se pueden modificar bajo la responsabilidad del ejecutor, siempre y cuando se respeten las propiedades de los mismos y se asemejen a los establecidos.

- Acero de baja aleación.

El hierro puro es un material blando. Si se le añade carbono y se trata bien térmicamente, se puede obtener un material casi tan duro y quebradizo como el cristal, o dúctil y resistente como la chapa para calderas. Tratar térmicamente significa calentar el acero a unos 800°C para disolver el carbono y, a continuación, enfriarlo rápidamente (templarlo) pudiendo posteriormente aliviar tensiones con un calentamiento menor (revenido). El temple del acero lo convierte en duro, quebradizo debido a la martensita. Templando poco a poco el metal se restablece la resistencia y baja la dureza. El control del tiempo y temperatura de revenido permite controlar las propiedades finales. Es maravilloso lo que el 1% de carbono puede hacer. Pero la velocidad de enfriamiento inicial tiene que ser rápida (mayor de 200°C/segundo para los aceros al carbono). No hay ninguna dificultad en la transformación de la superficie de una pieza a martensita, pero el interior se enfría más lentamente ya que el calor ha de atravesar el material. Si la pieza sólo tiene unos pocos milímetros de espesor, hay algún problema, el interior no se enfría lo suficientemente rápido. El problema se supera mediante la aleación. Al añadir un poco de manganeso (Mn), níquel (Ni), molibdeno (Mo), o cromo (Cr), la velocidad de enfriamiento crítica se viene abajo, permitiendo que las secciones de espesor sean endurecidas y templadas. Agregando algo de vanadio (V) se consigue una fina dispersión de los carburos que dan dureza, manteniendo la resistencia y ductilidad. Los aceros al cromo-molibdeno como el AISI 4140 se utilizan para tubos de aeronaves y otras piezas de alta resistencia. Los aceros al cromo-vanadio se utilizan para cigüeñales, ejes de hélices y herramientas de alta calidad. Los aceros aleados para este propósito se llaman aceros de baja aleación, y la propiedad fundamental que tienen es la “templabilidad”.

El acero de baja aleación ha sido utilizado para realizar el contrapeso, cuyas dimensiones se han calculado en el capítulo 3, apartado 3.3.

- PROPIEDADES GENERALES

Densidad	7,8e3 – 7,9e3	Kg/m <sup>3</sup>
Precio	0,618 – 0,734	€/kg

Tabla 19. Propiedades generales del acero de baja aleación

- PROPIEDADES MECÁNICAS

Módulo de Young	205 - 217	GPa
Límite elástico	400 – 1,5e3	MPa
Resistencia a tracción	550 – 1,76e3	MPa
Elongación	3– 38	% strain
Dureza Vickers	140– 639	HV
Resistencia a fatiga a 10 <sup>7</sup> ciclos	248 – 700	MPa
Tenacidad a fractura	14 – 200	MPa·m <sup>0,5</sup>

Tabla 20. Propiedades mecánicas del acero de baja aleación

#### 4.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS PIEZAS

En este apartado se especificarán las tolerancias sobre las que se pueden trabajar determinadas piezas.

La sección de la pluma donde van alojados los rodamientos, así como la cánula que incorpora el tornillo debe tener una tolerancia dimensional de  $\pm 0,01\text{mm}$ .

El rodamiento axial debe ser adquirido de la marca SKF, siendo concretamente el modelo 51100 cuyas características mecánicas y dimensionales se encuentran descritas en el anexo X.

El rodamiento radial de bolas debe ser también de la marca SKF, concretamente el modelo 61900 que, como el rodamiento axial, describe sus características mecánicas y dimensionales en el anexo Y.

Las piezas impresas por FDM se crean con una tolerancia de  $\pm 0,6\text{mm}$ .

Los perfiles ITEM que deben ser mecanizados deben cumplir con una tolerancia dimensional de  $0,02\text{mm}$ .

Los herrajes podrán ser obtenidos a gusto del consumidor, siempre y cuando se respeten las métricas y las dimensiones clave del proyecto.

#### **4.5 CONDICIONES DE FABRICACIÓN Y DISEÑO**

Para que las piezas se desarrollen correctamente cumpliendo las especificaciones de diseño, respetando las tolerancias y logrando un buen acabado de las mismas las piezas serán realizadas, en caso de realizarlas mediante el equipo de investigación de la universidad, por un técnico de taller que tenga conocimientos sobre las máquinas y procesos necesarios para su elaboración. En caso de no disponer de un técnico se deberán encargar a un taller de fabricación de piezas.

Las piezas comerciales, como los rodamientos o las piezas de perfilera se deberán encargar a los proveedores de las marcas especificadas en el apartado anterior. En el caso de que se encargase a otro proveedor se debe asegurar que estas piezas comerciales cumplan con las especificaciones técnicas para las que han sido diseñadas y asegure un buen funcionamiento del conjunto.

#### **4.6 EJECUCIÓN Y PLAZOS**

Este proyecto, como se ha especificado en el apartado 8 de la memoria el presente proyecto se podrá realizar en menos de, aproximadamente 41 días. Sin embargo el plazo de ejecución y montaje queda restringido por el plazo de entrega del proveedor en suministra todas las piezas, ya que depende de la demanda que tengan y de si el material se encuentra en stock. Aunque se han diseñado piezas con materiales comerciales es probable que no dispongan de esas piezas en el momento en el que se haga el pedido.

La ejecución del proyecto se deberá realizar siguiendo los planos especificados en el capítulo 5, ya que en los mismos se especifican las dimensiones finales de las piezas que deben ser fabricadas así como dos planos de explosión donde se ve el orden y dirección de ensamblaje de las piezas.

#### **4.7 CONDICIONES FACULTATIVAS**

Las condiciones facultativas engloban las relaciones entre la contrata y el director de proyecto.

A la hora de ejecutar el proyecto la máxima responsabilidad caerá sobre el director del proyecto, decidiendo sobre si las piezas están bien fabricadas, con las calidades adecuadas, velando por la seguridad de los trabajadores durante la ejecución del mismo. Debe modificar el proyecto en caso de ser necesario. Velar por la buena elección de las piezas comerciales, en caso de no ser las mismas que las propuestas en el presente proyecto.

Por otro lado, las funciones que el contratista del proyecto debe desarrollar es velar por el cumplimiento de la normativa vigente, así como conocer las leyes aplicables y velar por su cumplimiento. Además de ello debe verificar todos y cada uno de los documentos que componen el proyecto.

## 4.8 CONDICIONES ADMINISTRATIVAS

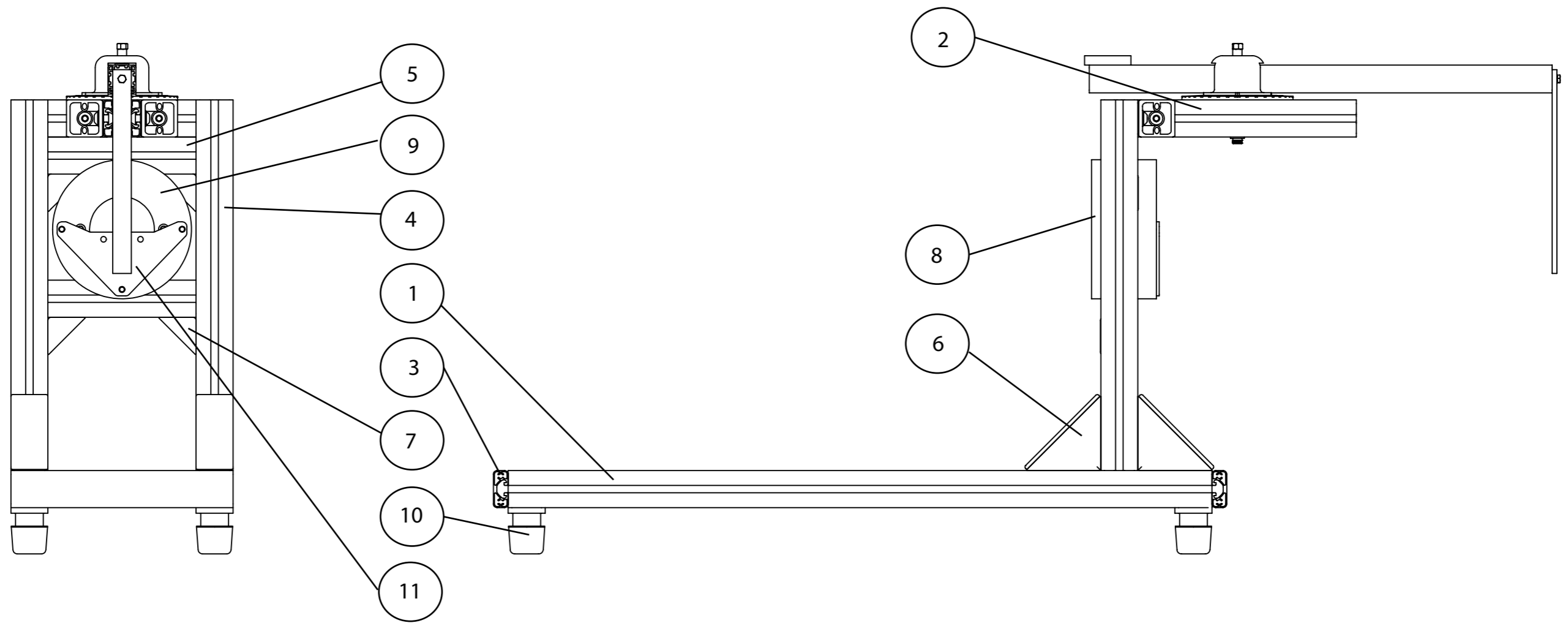
El contratista deberá asumir el importe de todos los trabajos ejecutados en el proyecto.

El director del proyecto tendrá a su disposición todos los documentos referentes a dicho proyecto, los cuales, entregará al contratista para que este esté en todo momento informado de todo lo que se va a realizar durante el proyecto. En caso de haber algún cambio después de que el director hubiera entregado los documentos, éste tendría que proporcionárselos al contratista. A continuación se detallan los documentos del presente proyecto.


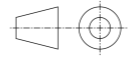
- Objetivos y contexto  
En este apartado se enmarca la justificación del presente proyecto, así como el contexto y alcance.
- Memoria  
En la memoria del proyecto se detallan todos los aspectos referentes a antecedentes, diseño conceptual, diseño final, fabricación, planificación
- Cálculos  
En el apartado de cálculos se establecen los cálculos realizados para garantizar el buen funcionamiento de los elementos del banco de ensayos.
- Pliego de condiciones  
En este documento de pliego de condiciones se establecen las condiciones administrativas, facultativas, técnicas y de seguridad para realizar el proyecto sin malas interpretaciones.
- Planos  
En el documento de planos se establecen todos los planos de las piezas que sufrirán cambios o se deberán fabricar.
- Anexos  
En los Anexos se establecen las hojas técnicas de piezas comerciales e información extraída y que es necesaria conocer para complementar el desarrollo el proyecto.
- Presupuesto

En el Presupuesto se pretende establecer un cálculo del coste industrial así como el análisis de costes directos e indirectos.

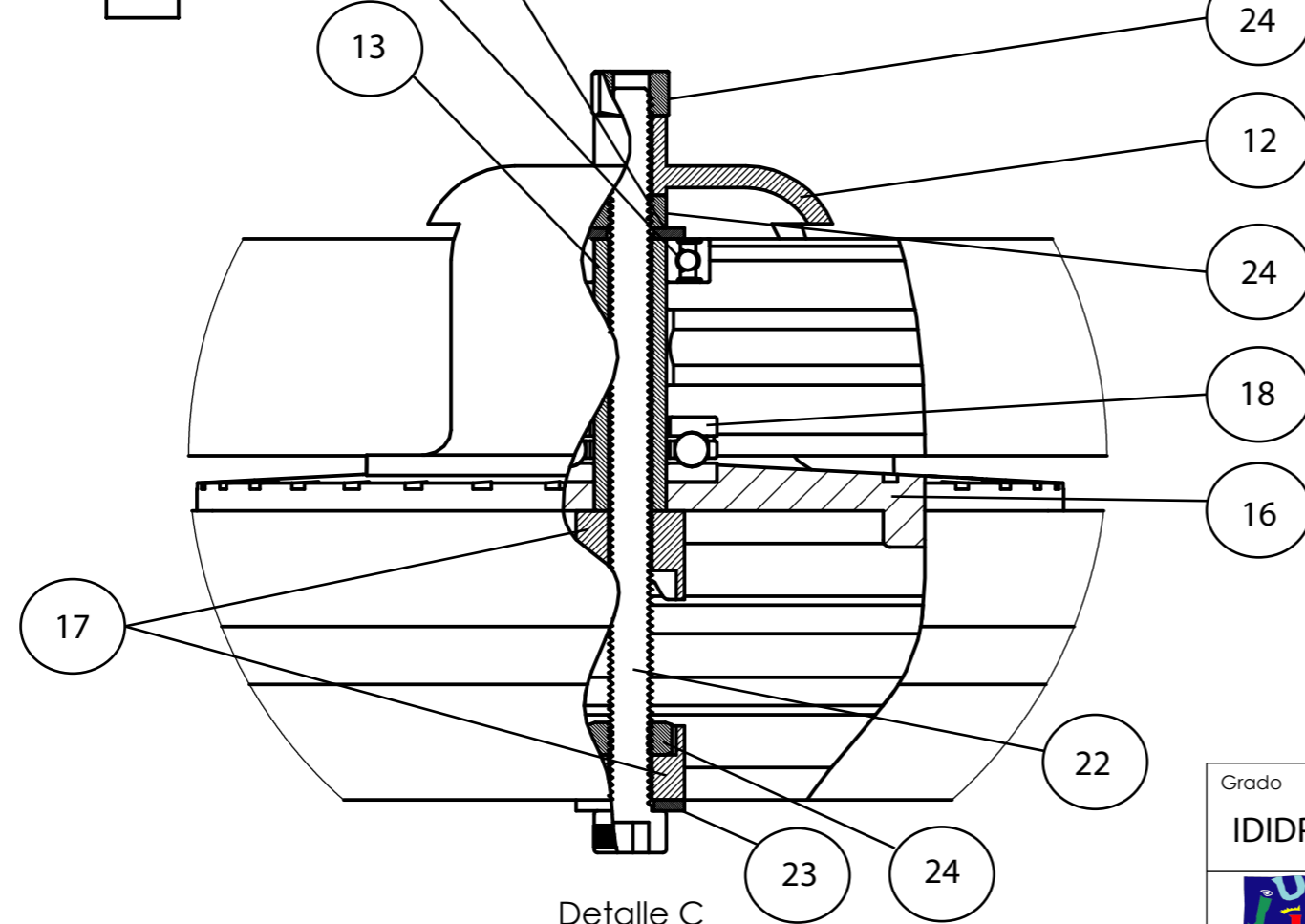
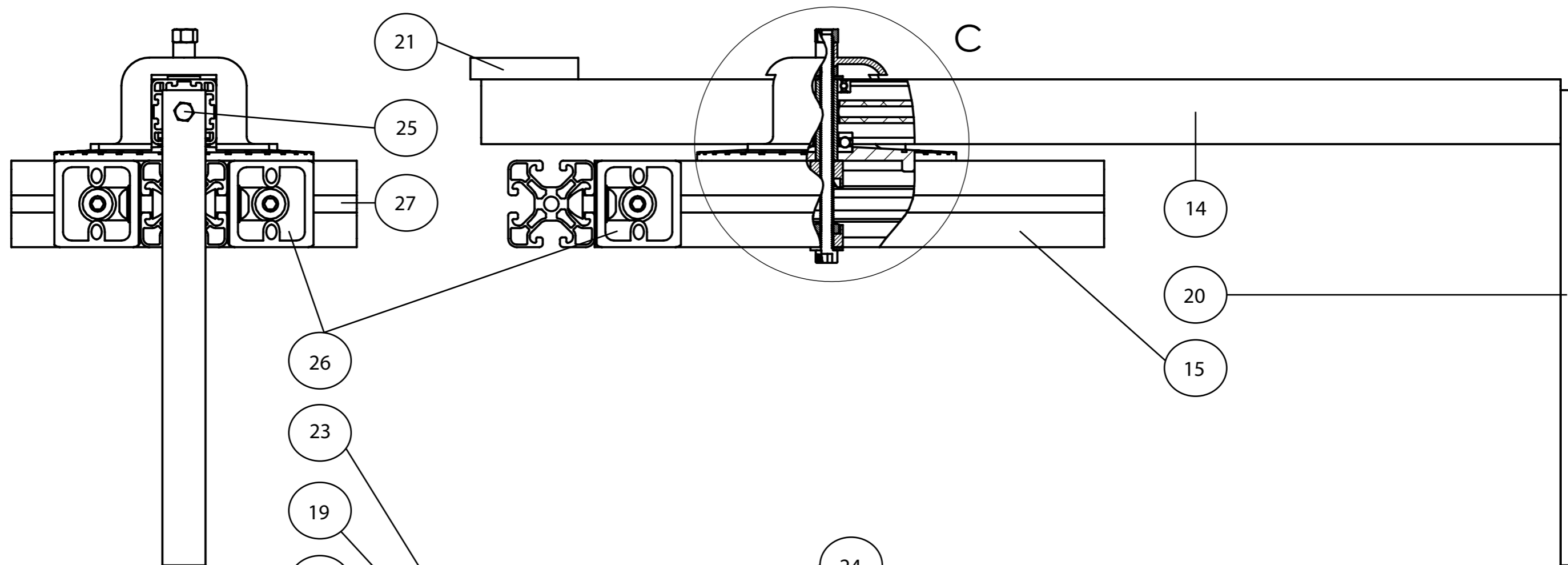
## **CAPÍTULO 5. Planos**





11	Acople	PLA	1
10	Pie	PA-GF	4
9	Tapa	PLA	1
8	Brida	PLA	1
7	Escuadra travesaño-torre	Aluminio	4
6	Escuadra base-torre	Aluminio	4
5	Travesaño	Aluminio	4
4	Perfil torre	Aluminio	2
3	Perfil base 2	Aluminio	2
2	Mecanismo	Aluminio	2
1	Perfil base	Aluminio	2
Nº	PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD

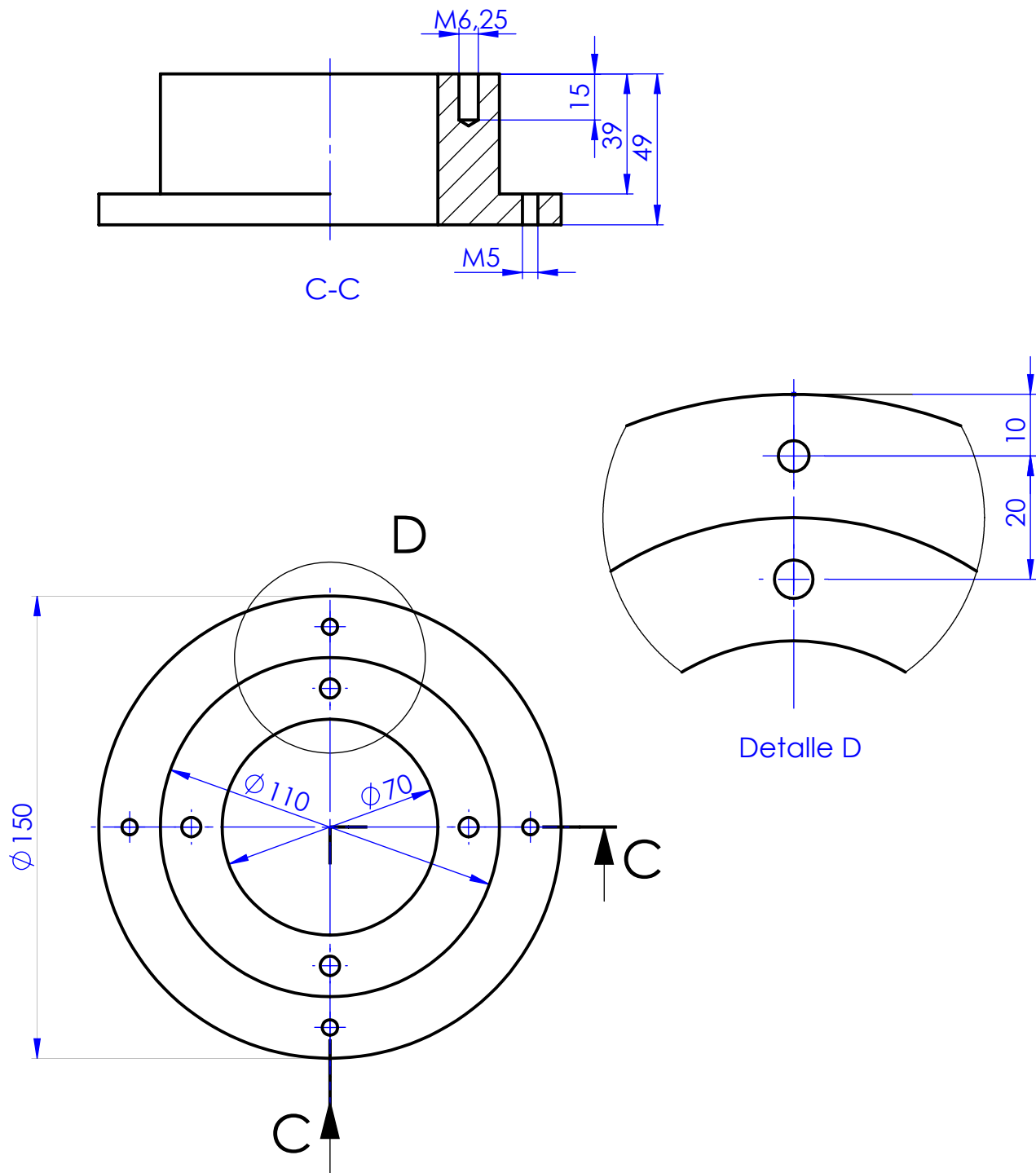
Grado IDIDP	Escala 1:5	Título PACMAR inicial	Unid. dim. mm	Formato papel A4
	Sistema	Apellidos, Nombre Paloma Oliván Cardona	Fecha 10/07/18	Plano nº 0
		Corrección Fco. Javier Andrés de la Esperanza		


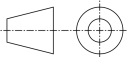


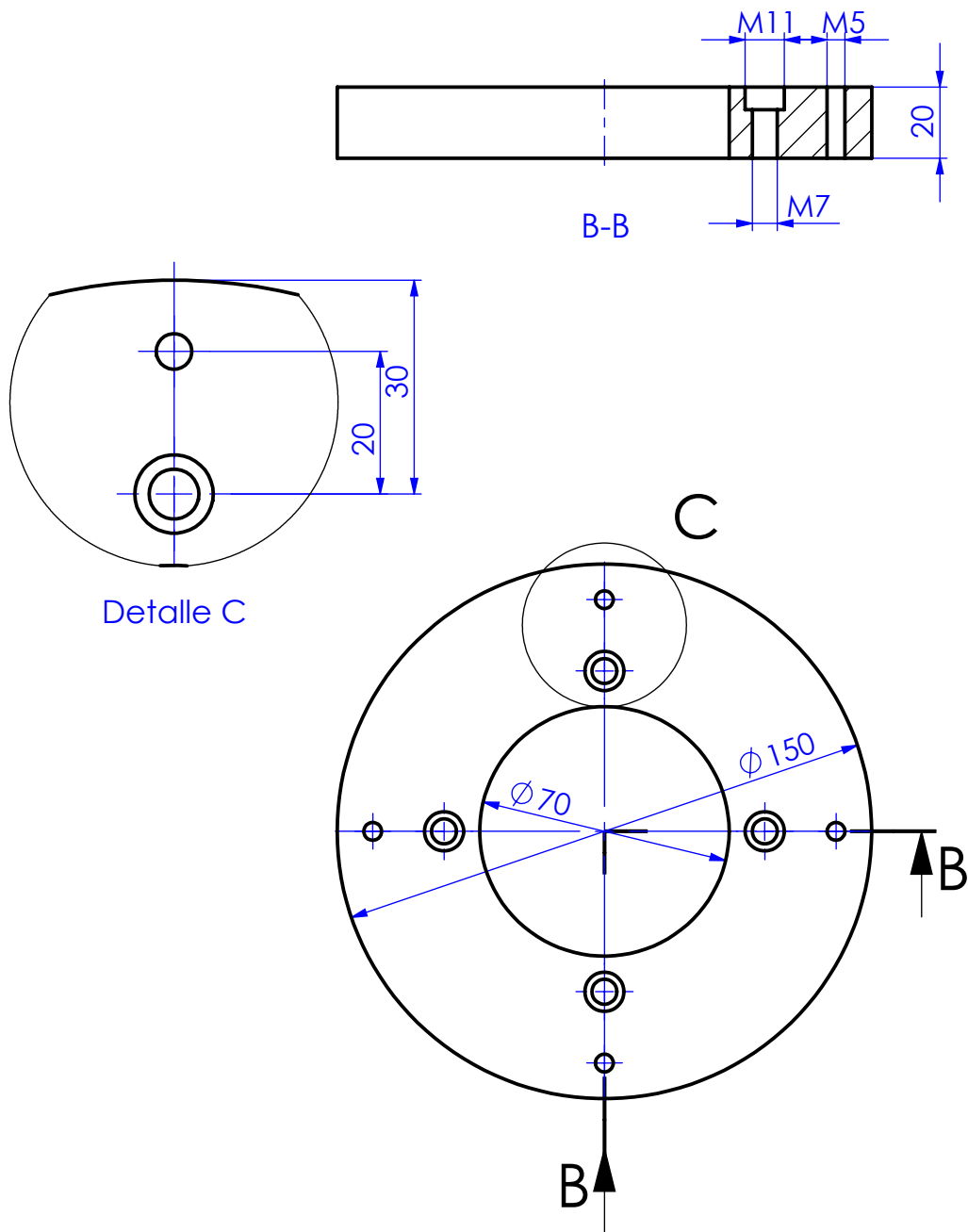



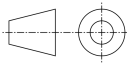
27	Travesaño superior	Aluminio	1
26	Escuadra travesaño-voladizo	Aluminio	2
25	Tornillo M5	Acero	1
24	Tuerca M6	Acero	3
23	Arandela M6	Aluminio	2
22	Tornillo M6	Acero	1
21	Contrapeso	Acero	1
20	Pletina para galga	Aluminio	1
19	Rodamiento radial (casquillo)	Bronce	1
18	Rodamiento axial (casquillo)	Bronce	1
17	Contratuercas de fijación	PLA	2
16	Escala graduada	PLA	1
15	Voladizo	Aluminio	1
14	Pluma	Aluminio	1
13	Cánula	Aluminio	1
12	Medidor	PLA	1
Nº	PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD

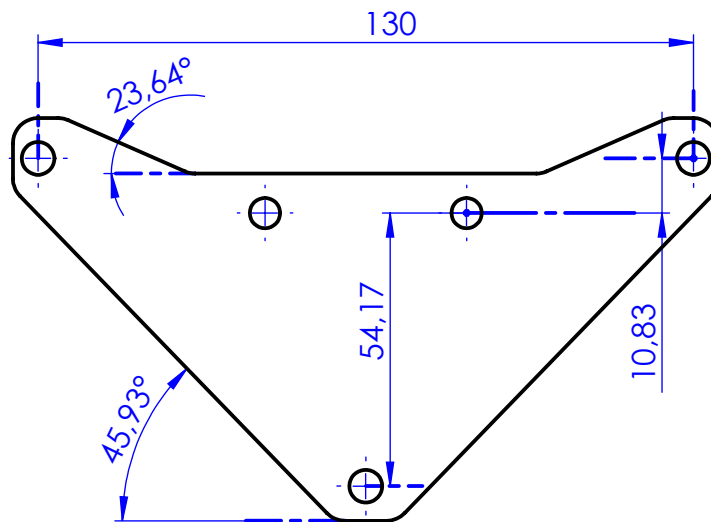
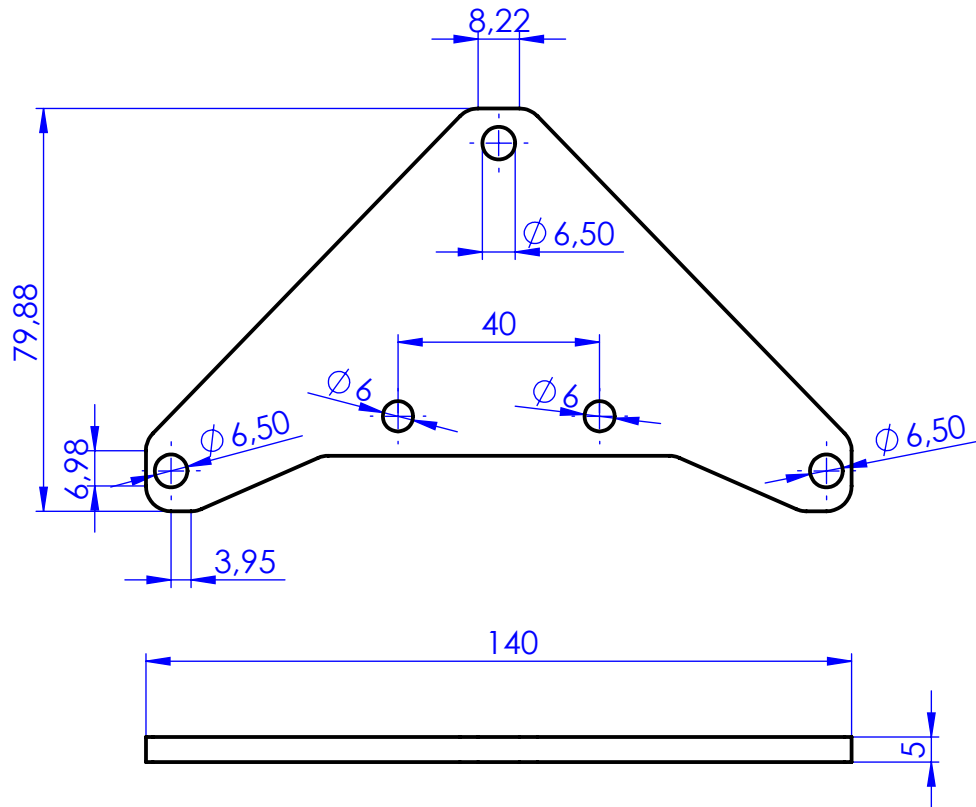
Grado	Escala	Título	Unid. dim.	Formato papel
IDIDP	1:5	Mecanismo	mm	A4
	Sistema	Apellidos, Nombre	Fecha	Plano nº
		Paloma Oliván Cardona	10/07/18	2
		Corrección	Fco. Javier Andrés de la Esperanza	




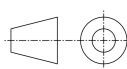
		Material	PLA	Cantidad	1
Grado	Escala	Título	Brida	Unid. dim.	Formato papel
IDIDP	1:2			mm	A4
	Sistema	Apellidos, Nombre	Paloma Oliván Cardona	Fecha	Plano nº
		Corrección	Fco. Javier Andrés de la Esperanza	10/07/18	8

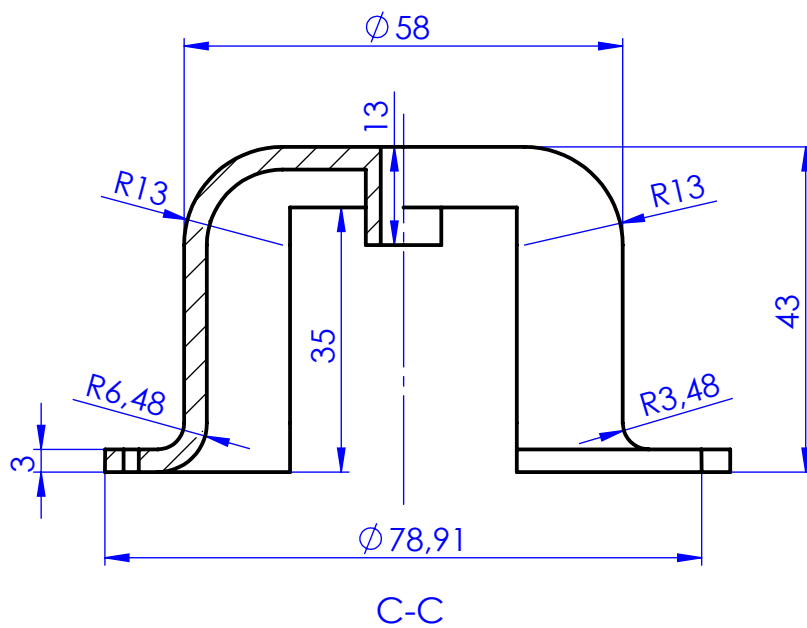
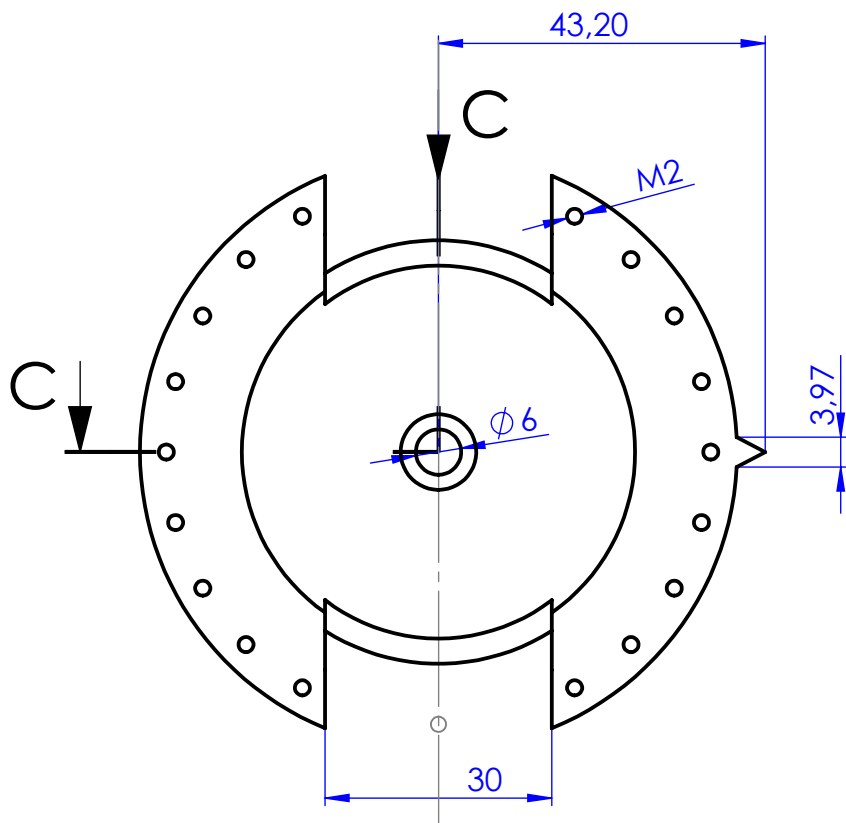



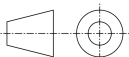
		Material	PLA	Cantidad	1
Grado	Escala	Título	Tapa	Unid. dim.	Formato papel
IDIDP	1:2			mm	A4
	Sistema	Apellidos, Nombre	Paloma Oliván Cardona	Fecha	Plano nº
		Corrección	Fco. Javier Andrés de la Esperanza	10/07/18	9

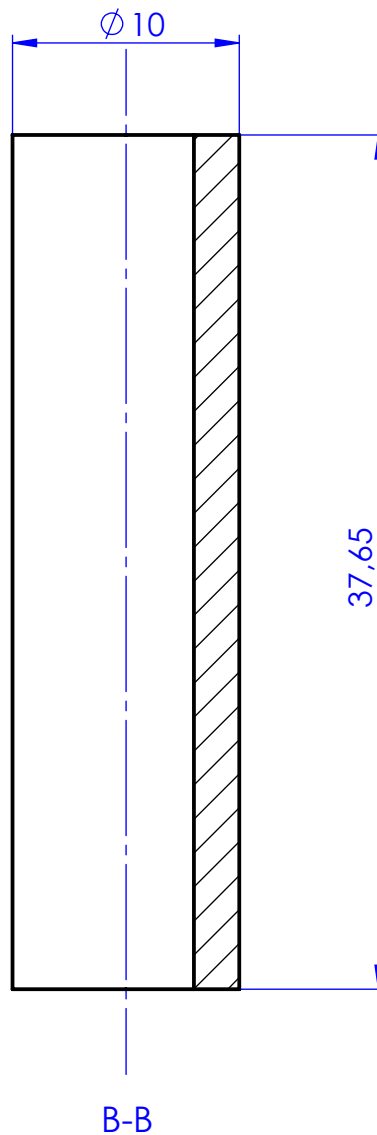
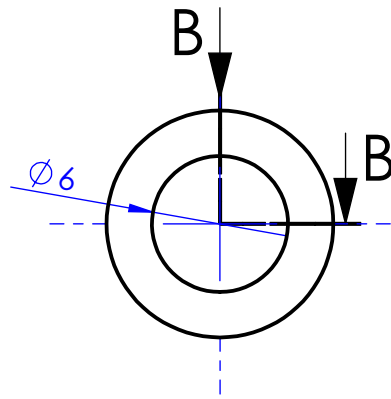




Radios no redondeados, R=5

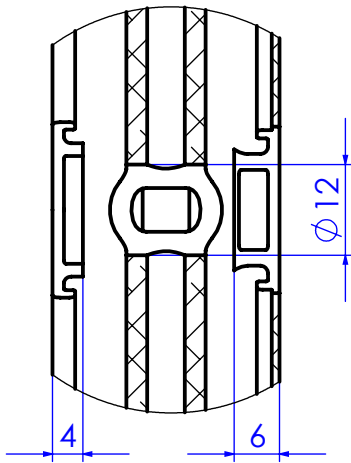
		Material	PLA	Cantidad	1
Grado IDIDP	Escala 2:3	Título	Acople	Unid. dim. mm	Formato papel A4
	Sistema	Apellidos, Nombre	Paloma Oliván Cardona	Fecha	Plano nº
		Profesor/a responsable	Fco. Javier Andrés de la Esperanza	10/07/18	11



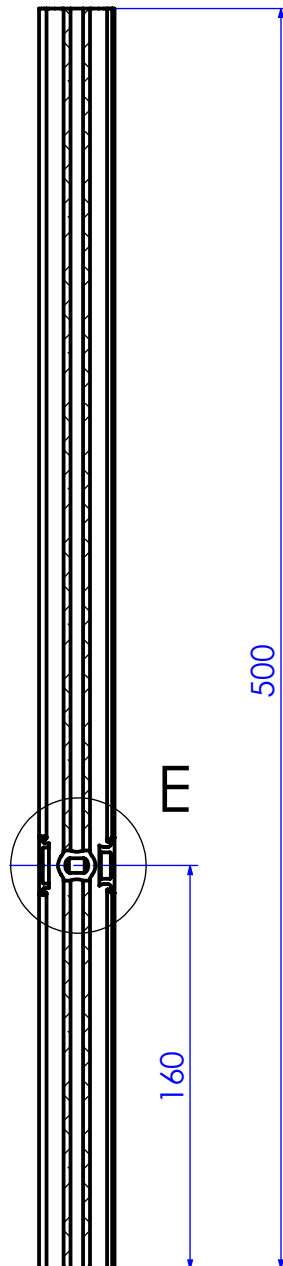
		Material	PLA	Cantidad	1
Grado	Escala	Título	Unid. dim.	Formato papel	
IDIDP	1:1	Medidor	mm	A4	
	Sistema	Apellidos, Nombre	Fecha	Plano nº	
		Corrección	10/07/18	12	
		Paloma Oliván Cardona		Fco. Javier Andrés de la Esperanza	



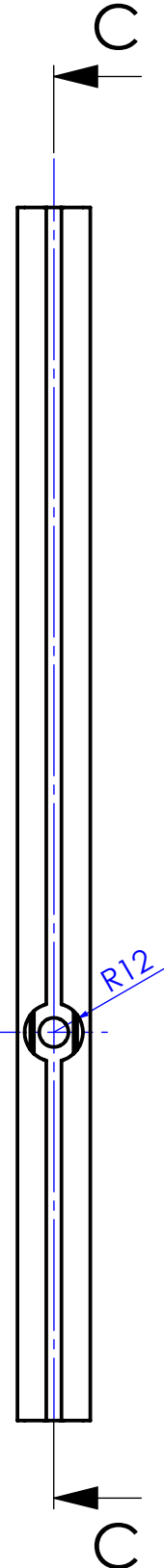
		Material	Aluminio		Cantidad	1
Grado	Escala	Título	Cánula		Unid. dim.	Formato papel
IDIDP	2:1			mm	A4	
	Sistema	Apellidos, Nombre	Paloma Oliván Cardona		Fecha	Plano nº
		Corrección	Fco. Javier Andrés de la Esperanza		10/07/18	13


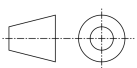


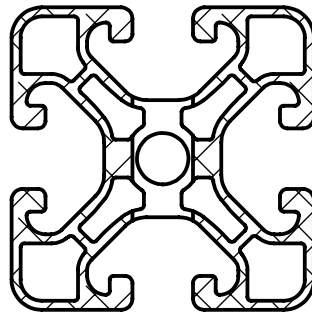
Detalle E



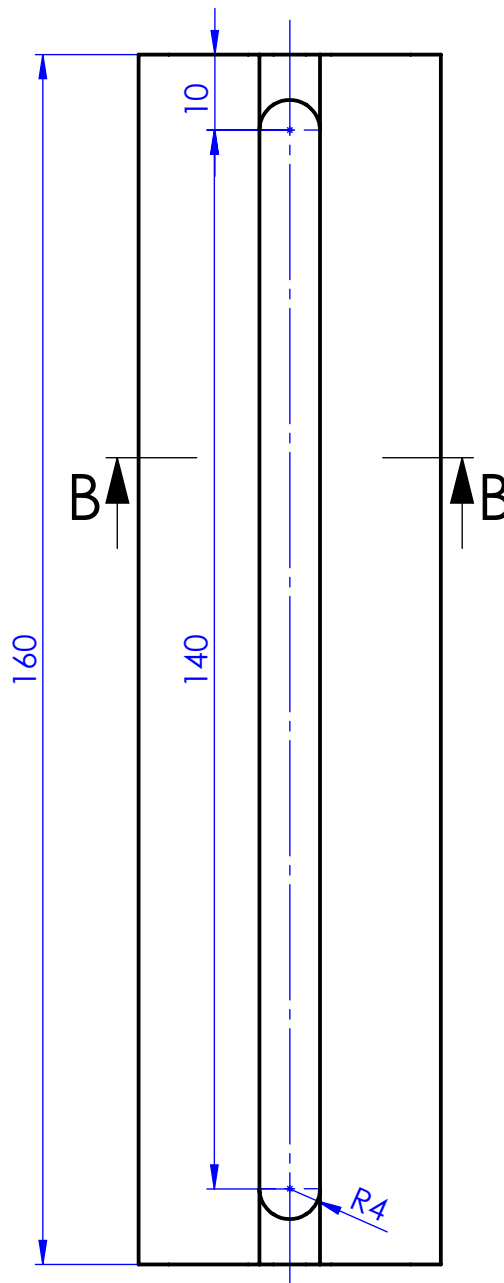
C-C


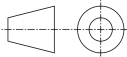


		Material	Perfil 6, 30x30 N L		Cantidad	1
Grado	Escala	Título	Pluma		Unid. dim.	Formato papel
IDIDP	1:3				mm	A4
		Sistema	Apellidos, Nombre		Fecha	Plano nº
			Paloma Oliván Cardona		10/07/18	14
		Corrección	Fco. Javier Andrés de la Esperanza			

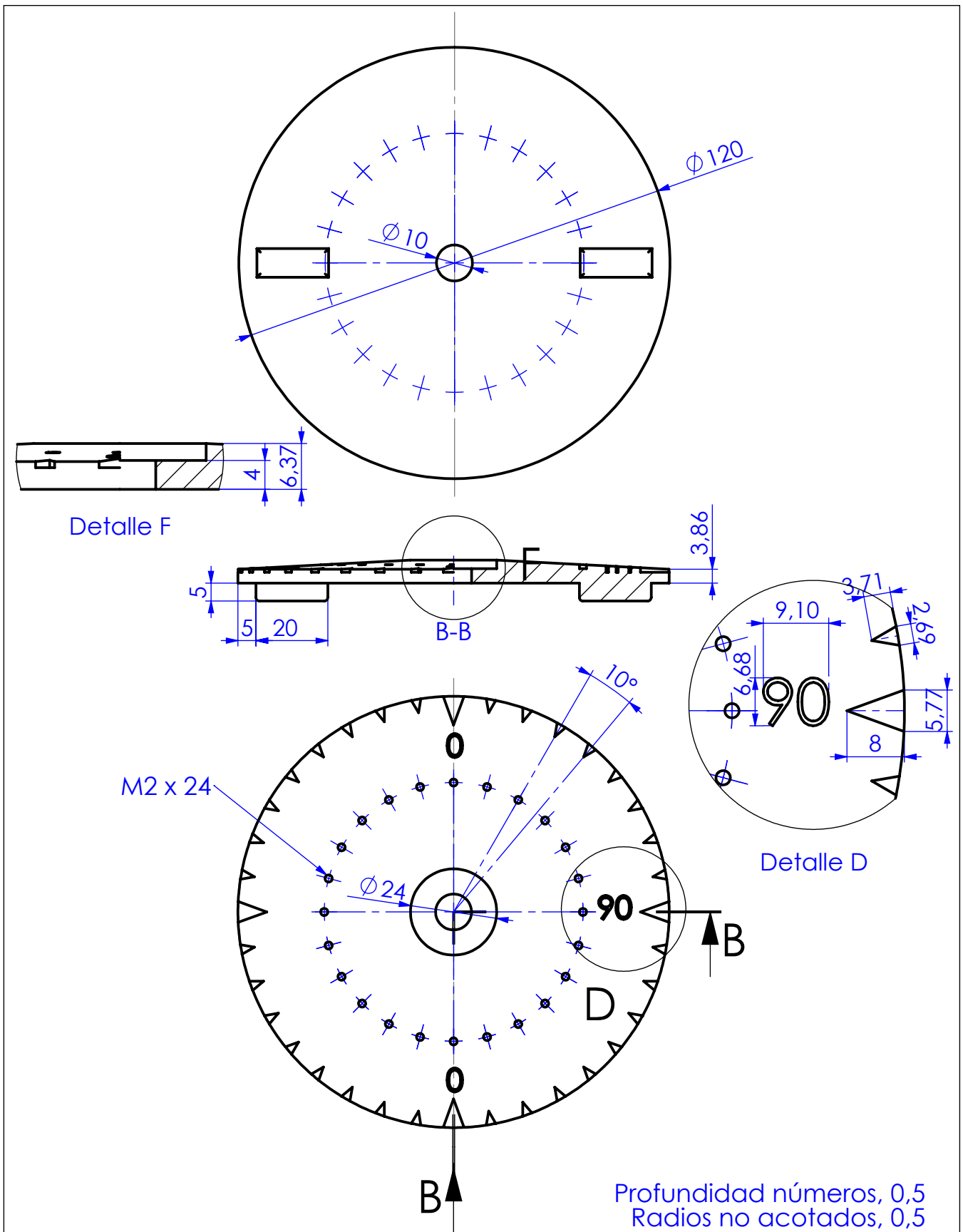


B-B


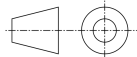


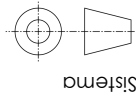
		Material	Perfil 8, 40x40 E, natural		Cantidad	1	
Grado	Escala	Título	Voladizo		Unid. dim.	Formato papel	
IDIDP	1:1				mm	A4	
	Sistema	Apellidos, Nombre	Paloma Oliván Cardona		Fecha	Plano nº	
		Corrección	Fco. Javier Andrés de la Esperanza		10/07/18	15	





Profundidad números, 0,5  
Radios no acotados, 0,5

		Material	PLA	Cantidad	1
Grado	Escala	Título	Unid. dim.	Formato papel	
IDIDP	2:3	Escala graduada	mm	A4	
	Sistema	Apellidos, Nombre	Fecha	Plano nº	
		Profesor/a responsable	10/07/18	16	
		Paloma Oliván Cardona		Fco. Javier Andrés de la Esperanza	



Grado  
IDIDP

Escala  
3:1

Apellidos, Nombre  
Paloma Oliván Cardona

Corrección  
Fco. Javier Andrés de la Esperanza

Fecha  
10/07/18

Plano nº  
17

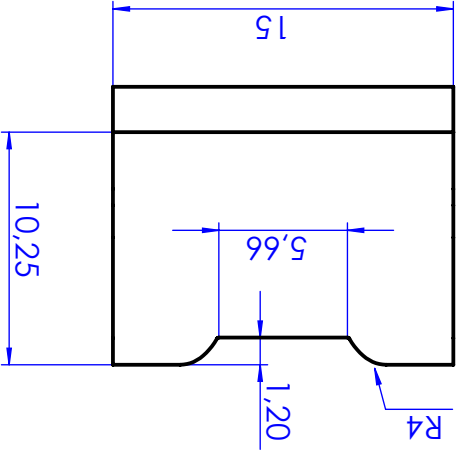
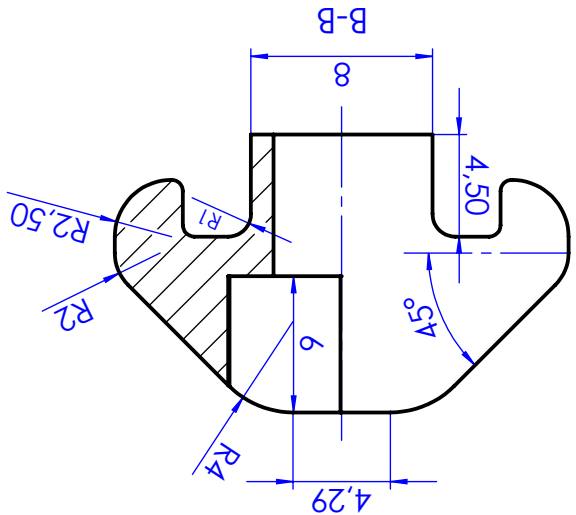
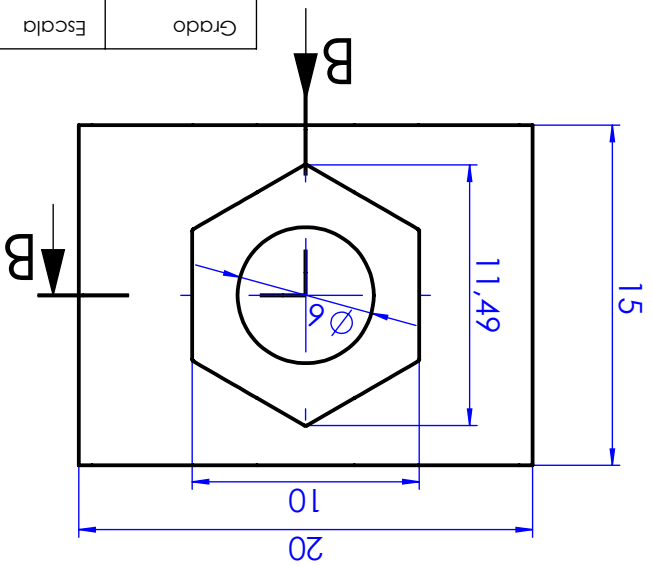
Título  
Contratuera de fijación

Unid. dim.  
mm

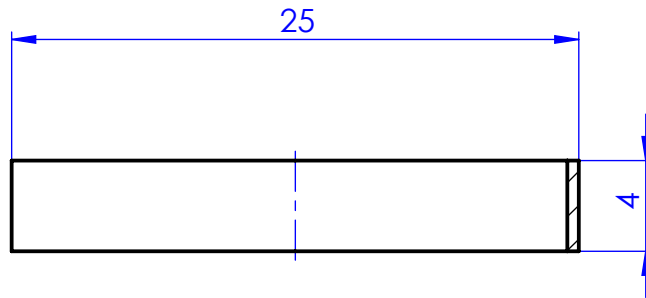
Formato  
papel  
A4

Material  
PLA

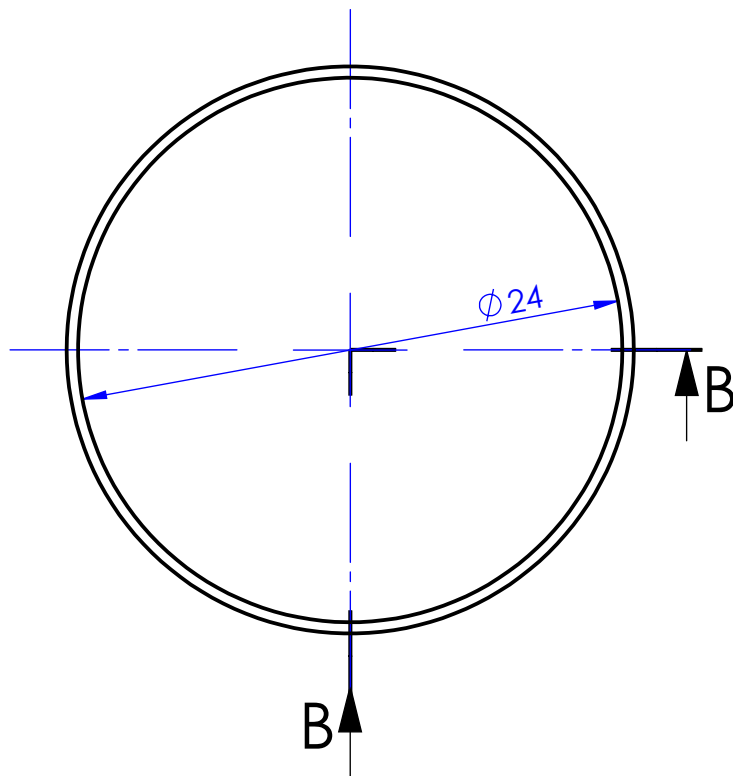
Cantidad  
2


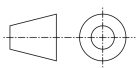


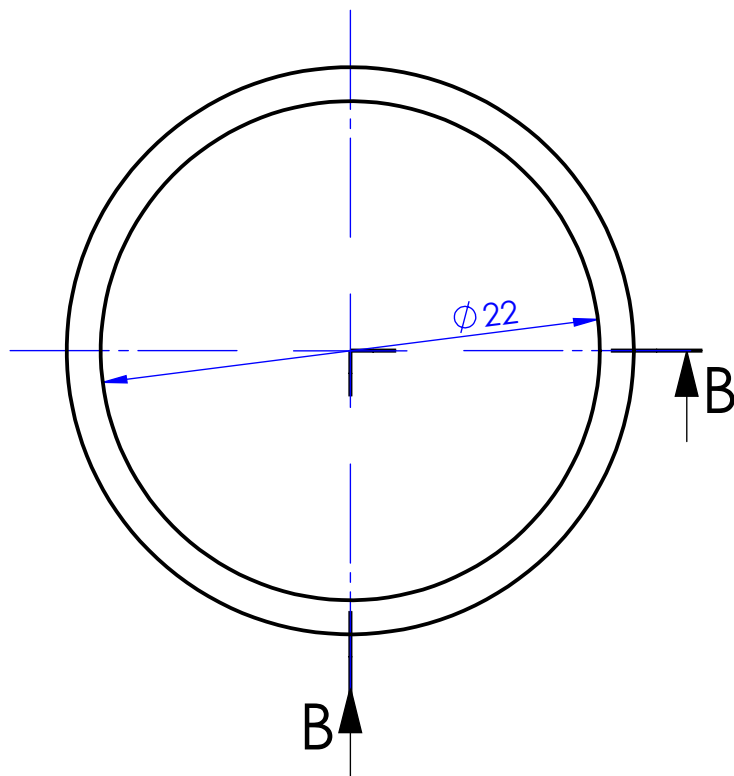
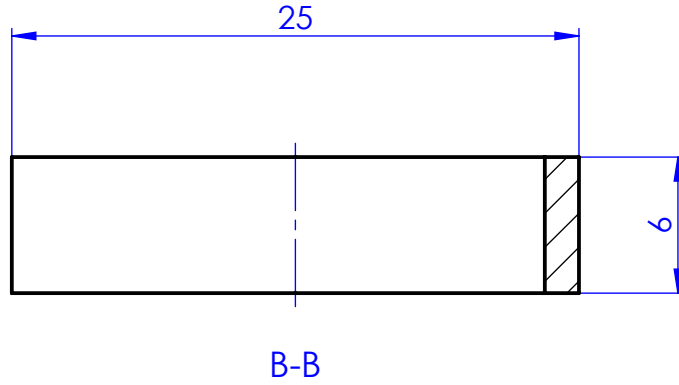
Radios no acotados R=0.5


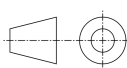


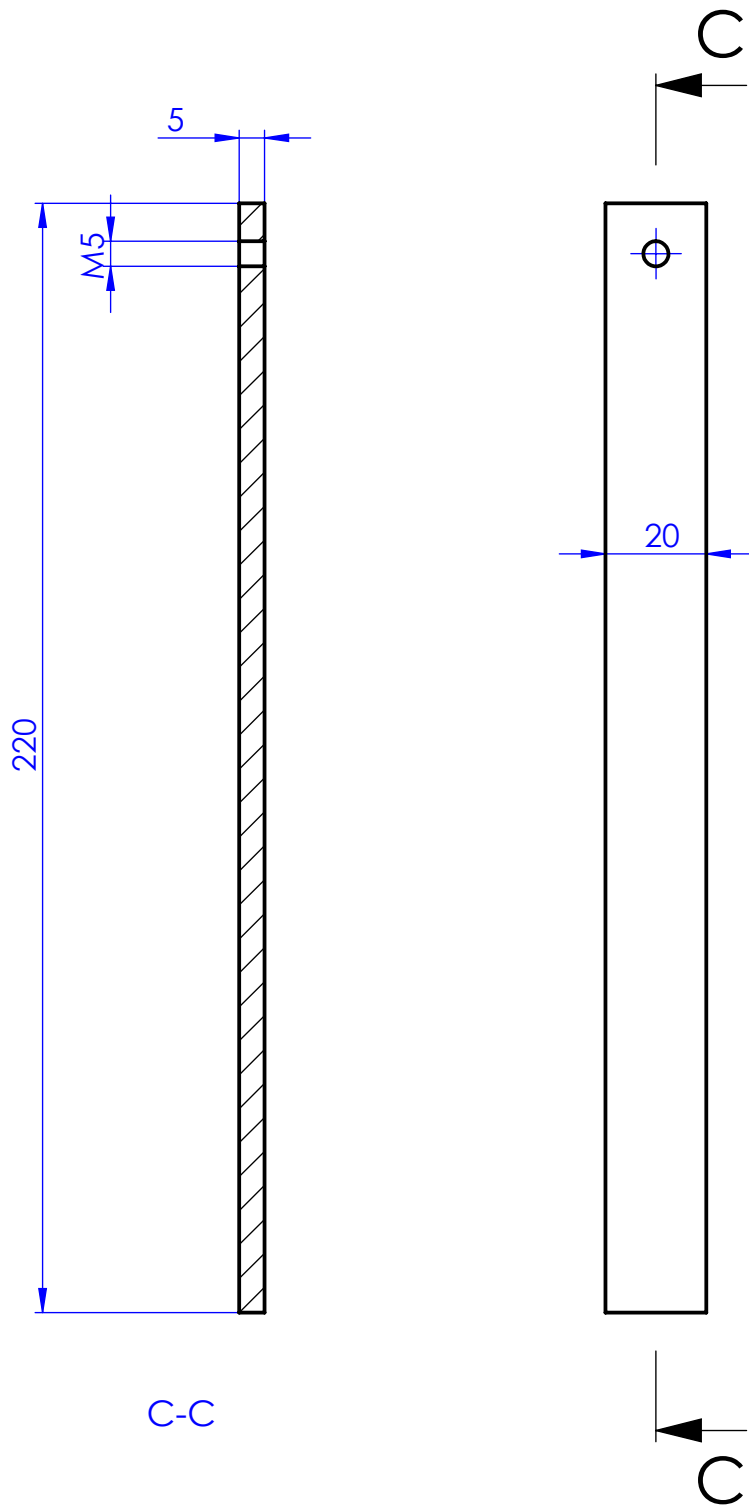
B-B


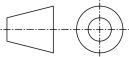


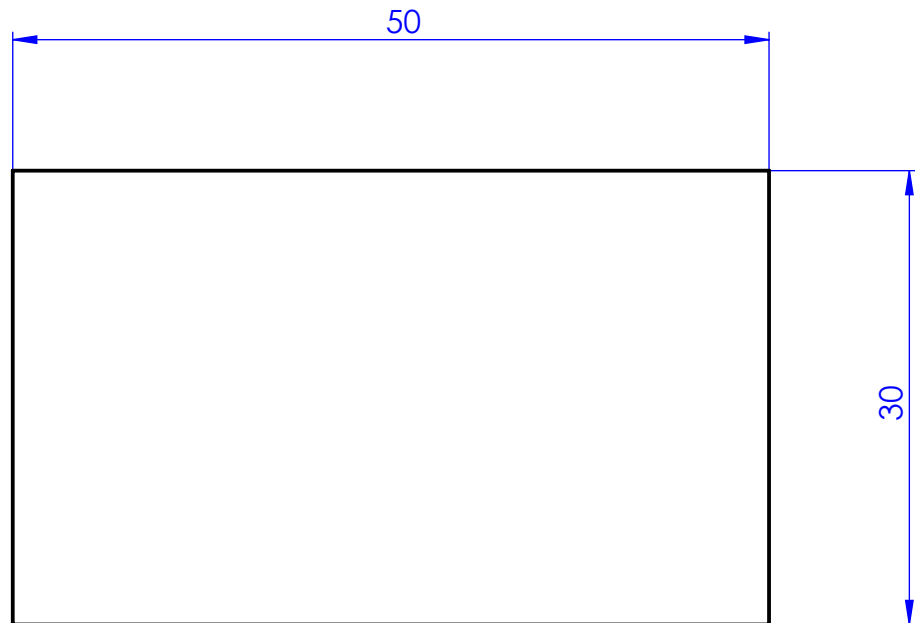
		Material	Bronce	Cantidad	1
Grado	Escala	Título		Unid. dim.	Formato papel
IDIDP	3:1	Casquillo para rodamiento axial		mm	A4
	Sistema	Apellidos, Nombre	Paloma Oliván Cardona	Fecha	Plano nº
		Corrección	Fco. Javier Andrés de la Esperanza	10/07/18	18


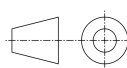


		Material	PLA	Cantidad	1
Grado IDIDP	Escala 3:1	Título	Casquillo para rodamiento radial		Unid. dim. mm
		Apellidos, Nombre	Paloma Oliván Cardona		Fecha
		Corrección	Fco. Javier Andrés de la Esperanza		10/07/18
				Formato papel	A4
				Plano nº	19



		Material	Aluminio	Cantidad	1
Grado IDIDP	Escala 1:2	Título	Pletina para galga extensiométrica		
		Sistema	Apellidos, Nombre	Fecha	Plano nº
			Paloma Oliván Cardona	10/07/18	20
		Corrección	Fco. Javier Andrés de la Esperanza		



		Material	Acero	Cantidad	1
Grado IDIDP	Escala 1:2	Título	Contrapeso	Unid. dim. mm	Formato papel A4
		Sistema	Apellidos, Nombre	Fecha	Plano nº
			Profesor/a responsable	10/07/18	21
			Paloma Oliván Cardona		
			Fco. Javier Andrés de la Esperanza		

## CAPÍTULO 6. Presupuesto

### 6.1 INTRODUCCIÓN

En este apartado se detallan los cálculos anticipados del coste total del producto. Este cálculo es aproximado, y para que sea lo más aproximado posible, en primer lugar se realiza una investigación sobre el precio unitario de cada material. A continuación se calculan tanto los costes directos, referentes a materiales comprados, fabricados, mano de obra y costes de taller. Posteriormente se calculan los costes indirectos, que sumados a los directos proporcionan el coste industrial.

### 6.2 CÁLCULOS DE COSTES DIRECTOS

En las siguientes tablas, se muestran los materiales que se van a necesitar así como sus dimensiones, además de otros elementos normalizados que es necesario comprar.

Por un lado, para conseguir el banco inicial, es decir, del diseño que se parte es necesario adquirir los siguientes elementos.

POS	Descripción	Longitud (mm)	U/C	Cantidad	Precio Ud. (€)	TOTAL (€)
1	Perfil 8 40x40 E	400	1	2	10,87	4,35
2	Perfil 8 40x40 E	160	1	2	10,87	1,74
3	Mec. Corte (A) pequeño	-	1	6	1,99	11,94
4	Perfil 5 40x10, natural	240	1	2	4,80	2,31
5	Perfil 8 120x40 L, natural	760	1	2	24,29	48,58
6	Corte sierra para secciones pequeñas	-	1	2	1,99	3,98
7	Kit escuadra 5 40x40	-	1	4	1,50	6
8	Kit escuadra automática 8 80x80 Al	-	1	4	1,30	5,2
9	Pie 8 PA	-	1	4	1,50	6
						<b>90,10</b>

Tabla 1. Perfilería ITEM PACMAR

En la *Tabla 2* se enumeran los elementos de perfilería ITEM que se solicitaron a la empresa Sinerges [2] y que componen el mecanismo.

POS	Descripción	Longitud (mm)	U/C	Cantidad	Precio Ud. (€)	TOTAL (€)
1	Perfil 8 40x40 E	160	1	1	10,87	1,74
2	Perfil 8 40x40 E	210	1	1	10,87	2,28
3	Mec. Corte (A) pequeño	-	1	2	1,99	3,98
4	Perfil 6 30x30 3N L	500	1	1	14,78	7,39
5	Mec. Corte (A) pequeño	-	1	1	1,99	1,99
6	Portes	-	1	1	9,00	9,00
						<b>26,38</b>

Tabla 2. Perfilera ITEM

En la *Tabla 3* se cataloga el precio del rodamiento axial obtenido del catálogo SKF.

Referencia	Cantidad	Precio (€)
Rodamiento 51100	1	22,01
Rodamiento 61900	1	20,48
		<b>42,49</b>

Tabla 3. Rodamientos SKF

En lo que respecta a los elementos impresos por FDM se calcula el precio en función del material utilizado. Se ha investigado que la bobina de PLA cuesta 7,99€ viniendo en total 300g [1].

Se ha de tener en cuenta que ha sido necesario generar soportes en el capuchón y en el medidor, se estima que los soportes supondrán 1/3 de la masa del elemento.

$$C_{UNITARIO} = \frac{7,99€}{300g} = 0,027 \text{ €/g}$$

$$m_{SOPORTES \text{ CAPUCHÓN}} = \frac{1}{3} \cdot 55,17 = 18,39 \text{ g}$$

$$m_{CAPUCHÓN} = 55,17 + 18,39 = 73,56 \text{ g}$$

$$m_{SOPORTES \text{ MEDIDOR}} = \frac{1}{3} \cdot 22,98 = 7,66 \text{ g}$$

$$m_{MEDIDOR} = 22,98 + 7,66 = 30,64 \text{ g}$$

Elemento	Cantidad	Material	Masa (g)	Coste unitario (€/g)	Coste total (€)
Medidor	1	PLA	73,56	0,027	1,99
Escala grad.	1	PLA	30,64	0,027	0,83
Contratuera	2	PLA	0,94	0,027	0,05
Brida	1	PLA	356,07	0,027	9,61
Tapa	1	PLA	270,36	0,027	7,30
					<b>19,78</b>

Tabla 4. Elementos impresos por FDM



Como se puede apreciar en la *Tabla 4* se ha añadido la brida y la tapa a las piezas fabricadas por FDM, puesto que inicialmente y en la realidad están fabricados de acero inoxidable, un material más caro y que es prescindible en la función que deben cumplir dichos elementos.

Por otro lado, también hay que comprar elementos normalizados como son las arandelas, tornillos y tubos de aluminio para la generación de la cánula. Todos estos materiales tienen un gasto aproximado de 5€.

<b>Tornillería y otros elementos</b>	<b>5€</b>
--------------------------------------	-----------

*Tabla 5. Elementos de tornillería y herrajes*

Asimismo también deberán de considerarse los elementos necesarios para realizar la prueba de capacidad de agarre de formas primitivas. Para ello será necesario:

Elemento	Cantidad (uds)	Coste unitario (€/ud)	Coste total (€)
Pack formas primitivas	1	3,50	4,50
Cuerda tranzada PE	1	2,19	2,19
Cubo (10 litros)	1	2,90	2,90
			<b>9,59</b>

*Tabla 6. Elementos para prueba de agarre de formas primitivas*

Una vez conocidos estos costes se pueden calcular el coste de material del banco de ensayos.

$$C_{MATERIAL} = C_{PACMAR\ INICIAL} + C_{FDM} + C_{ITEM\ MEC} + C_{TORNILLERÍA} + C_{RODAMIENTOS} + C_{PAFP}$$

$$C_{MATERIAL} = 90,10 + 26,38 + 42,49 + 19,78 + 5 + 9,59 = 193,34€$$

Tras conocer el gasto de componentes del banco de ensayos se detallarán costes que debe afrontar la universidad en la generación del mismo.

Continuando con los costes directos está la figura del operario, quien trabaja durante la planificación de este proyecto (5 días a la semana; 8 horas diarias; 30 horas semanales). La fuente de donde se han obtenido los datos de la nómina de los trabajadores de una universidad se ha obtenido gracias a la universidad (40,5€/día). Por lo que:

Operario	Días	€/día	Total
Técnico de taller	11	40,5	<b>445,50</b>

*Tabla 7. Costes operario*

Los costes directos están compuestos por los costes de material así como por los costes del personal encargado de la fabricación de los mismos. Por lo tanto:

$$C_{DIRECTOS} = C_{MATERIAL} + C_{OPERARIO}$$

$$C_{DIRECTOS} = 193,34 + 445,50 = \mathbf{638,84€}$$

### 6.3 CÁLCULO DE COSTES INDIRECTOS

Los costes indirectos son todos aquellos que no están controlados directamente y que no dependen del producto a realizar. En este apartado se engloban gastos como el consumo general del taller, así como la iluminación, el alquiler, etc... y la mano de obra indirecta, como los administrativos. Normalmente, como es complicado abarcar todo este tipo de gastos se asigna un porcentaje del coste directo. En este caso, el coste indirecto total corresponde al 10% del coste directo.09

	Costes directos (€)	Porcentaje sobre costes directos (%)	Total (€)
Costes indirectos	629,25	10	<b>62,93</b>

*Tabla 8. Costes indirectos*

### 6.4 CÁLCULO DEL COSTE INDUSTRIAL

Finalmente se obtiene el coste industrial que está formado por la suma del coste directo e indirecto.

$$C_{INDUSTRIAL} = C_{DIRECTOS} + C_{INDIRECTOS}$$

$$C_{INDUSTRIAL} = 638,84 + 62,93 = \mathbf{701,77€}$$

### REFERENCIAS

- [1] [https://tiendas.mediamarkt.es/p/bq-pla-filament-1-75mm-acido-polilactico-1362735?gclid=EAIaIQobChMI4LGGh\\_jw2wIVjbHtCh3C1QrYEAQYAIBEGlQafD\\_BwE&gclid=aw.ds&dclid=COCWllz48NsCFc-NGwod-YwH2Q](https://tiendas.mediamarkt.es/p/bq-pla-filament-1-75mm-acido-polilactico-1362735?gclid=EAIaIQobChMI4LGGh_jw2wIVjbHtCh3C1QrYEAQYAIBEGlQafD_BwE&gclid=aw.ds&dclid=COCWllz48NsCFc-NGwod-YwH2Q)
- [2] [http://www.sinerges.com/http://www.leroymerlin.es/fp/420105\\_hexagonal1z1acero1z1zincado/420105-hexagonal-acero-zincado-suki-international-gmbh-hexagonal-acero-zincado?pathFamiliaFicha=420105&uniSelect=undefined&ancho=undefined](http://www.sinerges.com/http://www.leroymerlin.es/fp/420105_hexagonal1z1acero1z1zincado/420105-hexagonal-acero-zincado-suki-international-gmbh-hexagonal-acero-zincado?pathFamiliaFicha=420105&uniSelect=undefined&ancho=undefined)

## E-NABLE PROSTHETIC HAND TESTING DEVICES

<http://buildinprogress.media.mit.edu/projects/2060/steps>

<http://buildinprogress.media.mit.edu/projects/2060/blog>



The purpose of this project is to design testing devices to evaluate the **mechanical efficiency and gripping efficacy** of e-nable prosthetic hands. This project area is designed to serve as a repository of hand testing devices, and a collaboration area for designers to post new ideas, and give feedback on proposed designs.

Any device is fair game. Things the devices should test

1. Mechanical Efficiency of a Prosthetic Hand
2. Gripping Efficacy of a Prosthetic Hand
- ¿3. Durability of a Prosthetic Hand Design?

**Requirements:** Hand testing devices should meet the following requirements:

1. Cost less than \$100 to build
2. Feasible to build for any reasonably competent individual using off the shelf parts and a well-equipped workshop & a 3d printer.
3. Feasible to build as a weekend project

## 1. Mechanical Efficiency Testing Devices

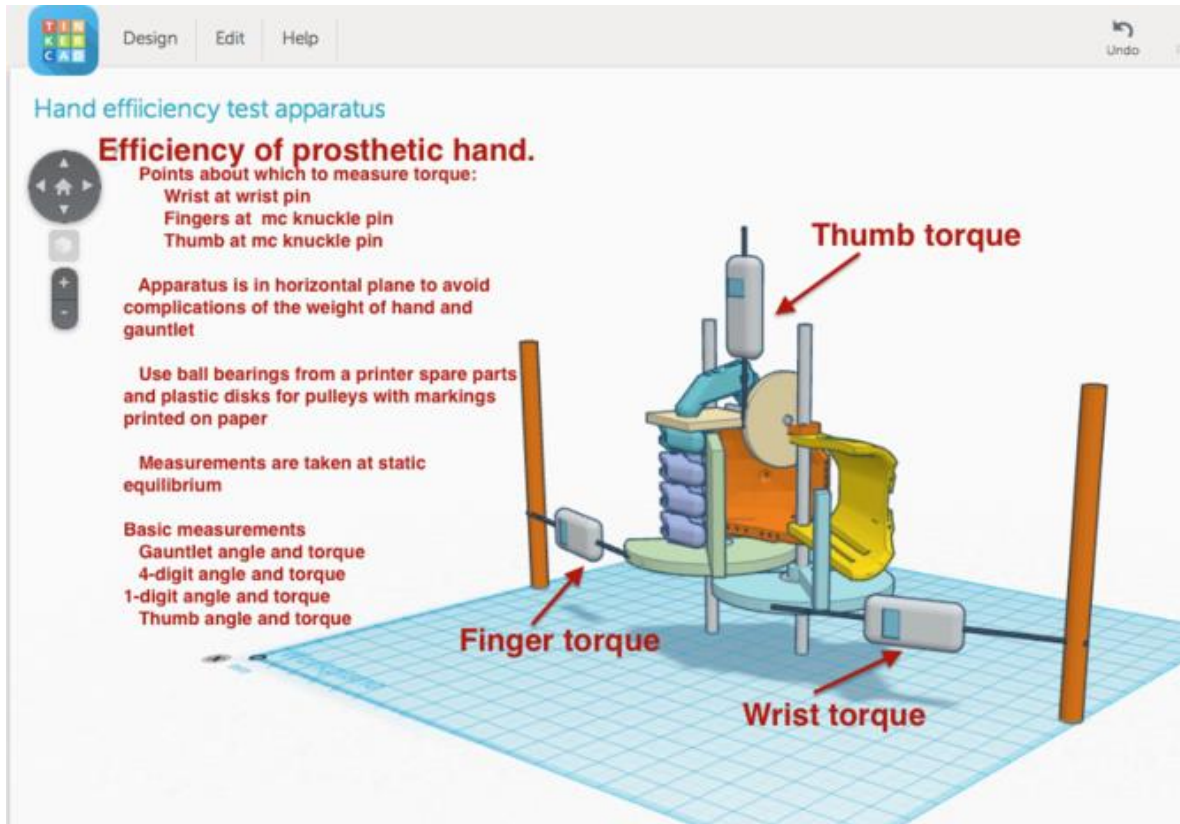
This is a repository for designs for Mechanical Efficiency Testing Devices. **These devices should be designed to measure how efficiently a prosthetic device translates wrist flexion into finger gripping force.**

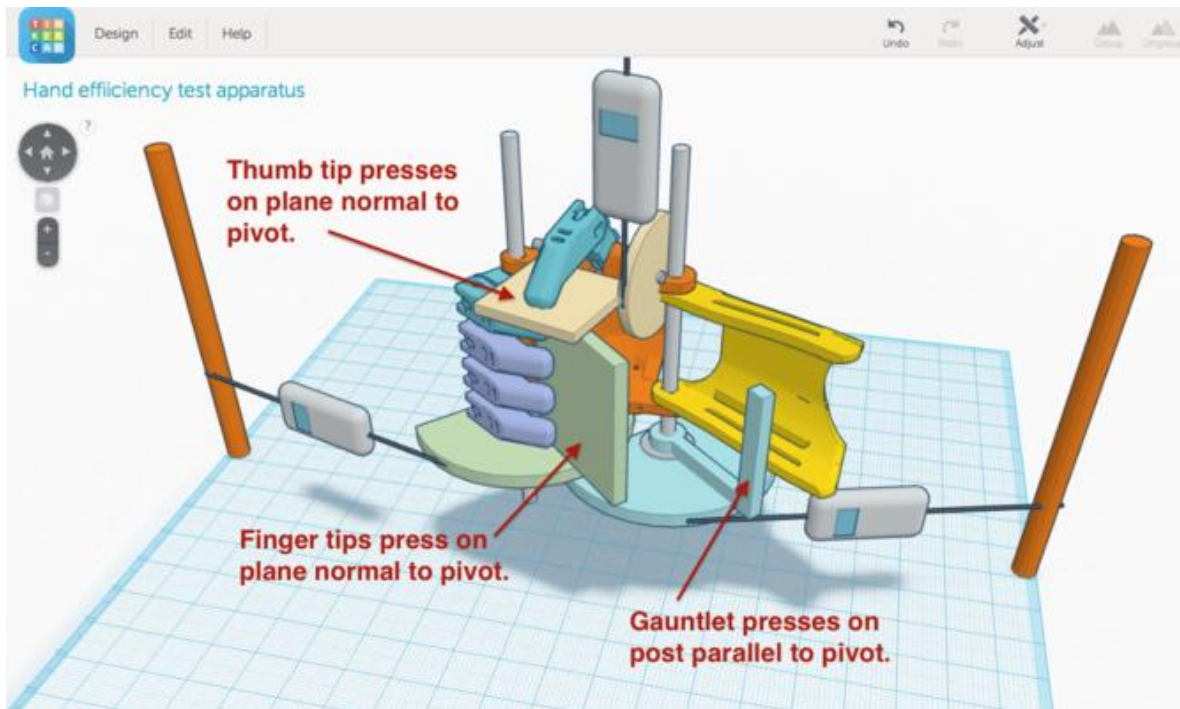
In a perfect world, ~~1kg of wrist flexion force should translate into 1kg of finger gripping strength.~~ There are a lot of mechanical gremlins that get in the way of this. Some examples:

1. Pin Friction: The snap pins in the Raptor, for example, are not smooth out of the box. Under load, they create a great deal of friction. On my hulk hand with a 10# spring, joints sounded like a pepper shaker grinding pepper when the fingers moved, even after sanding them for an hour up to 500 grit. This friction robs users of grip strength.
2. Tendon Friction: The tendon lines we use in very coarse, unsanded tendon holes generate friction. The standard nylon shade cord that comes in the Cyborg beast kit is about 1.5mm with a relatively coarse braid. Under load, those lines drag on the plastic, and waste a great deal of energy. The 0.5mm dyneema fishing line likely generates less friction under load. I'd like to measure the difference.
3. Elastic Losses: The elastics that we use to open the fingers consume grip strength. The user has to overcome the elastic resistance to close the grip. Because of Hooke's law, the more the fingers are closed, the more the elastics are stretched, and the harder it becomes to stretch them. They also generate friction while they're stretching. It may not seem like a lot of force to stretch, but our users don't have a lot of strength to begin with. I want to measure how much force elastics are consuming.

4. Other: There are lots of forces at work in these hands we don't fully understand. Testing the hands on a standardized testing apparatus will really help shine light on these unknown, complex mechanical gremlins :)

## 1.1. Meetze MET Device





This is a design by Skip Meetze to test the mechanical efficiency of a prosthetic hand. It's pretty fantastic, so I grabbed it off the e-nable forum and posted it here for posterity, and for brighter minds than I to evaluate.

Here is Skip's description of the device:

Points about which to measure torque:

Wrist at wrist pin.

Fingers at mc knuckle pin.

Thumb at mc knuckle pin

Apparatus is in horizontal plane to avoid complications of the weight of hand and gauntlet.

Use bearings from printer spare parts and plastic disk with markings printed on paper for pulleys.

Measurements taken at static equilibrium.

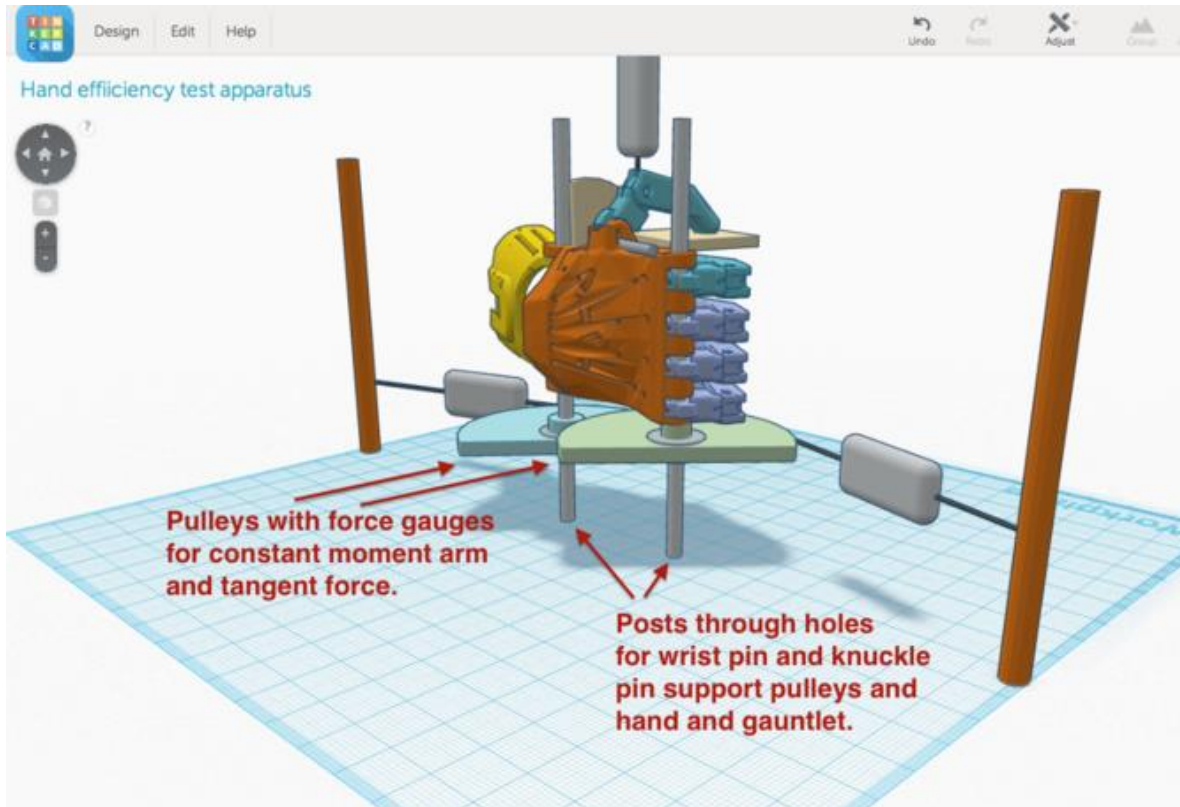
Basic measurements:

Gauntlet angle and torque,

4-digit angle and torque,

1-digit angle and torque,

Thumb angle and torque,



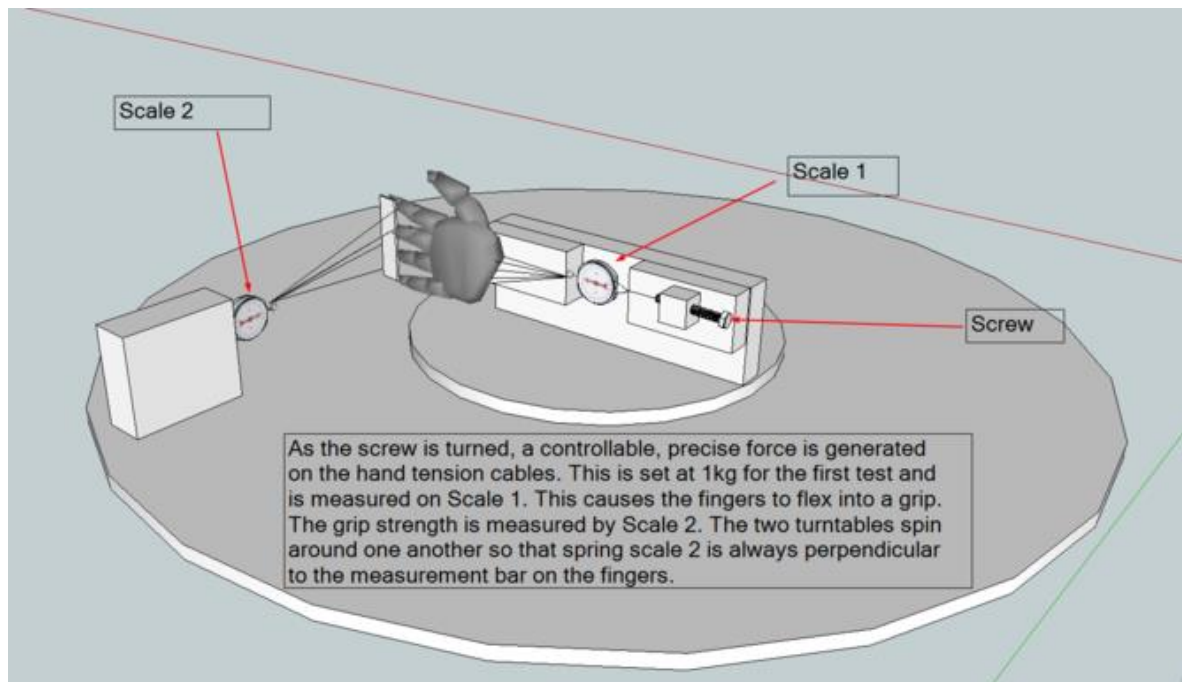
## 1.2. Hall MET (“Mech Eff Test”) Device V1

This is another device designed for testing the mechanical efficiency of hands that I (Nick Hall) put together. Here is my description what I was trying to accomplish:

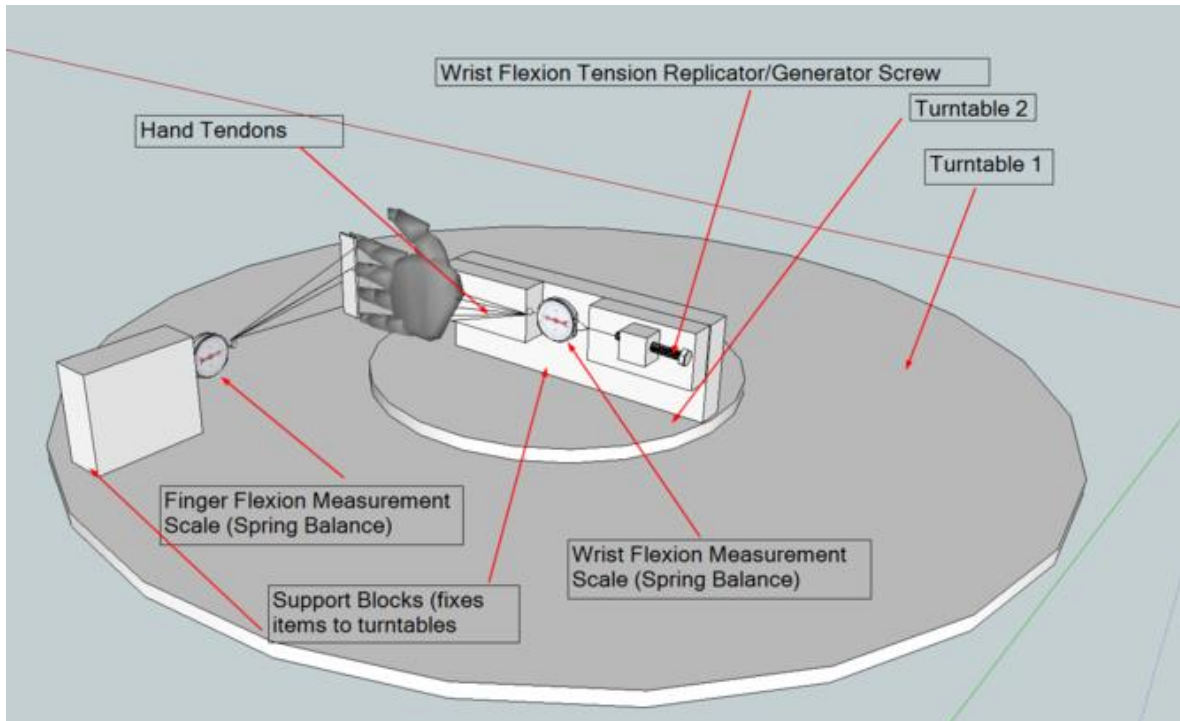
Here is my first stab at designing a tool to measure the efficiency of e-nable hands. I'm interested to learn **which of the existing hand models do the best job of translating the wrist flexion of the user into a useful grip**. In theory, all the hands should be the same, but there are some mechanical gremlins that get in the way (seen before):

1. Pin Friction.
2. Tendon Friction.
3. Elastic Losses.
4. Other.

The gizmo that I designed to measure these mechanical forces is generally terrible:







It uses 2 turntables that turn independently of one another. **The reason it does this is that as the fingers curl, the scale that's measuring the finger gripping force needs to spin around to stay perpendicular to the backs of the finger-tips.** Turntables were the first things that I thought of to do this.

One nice feature of this design is that it uses a simple screw that is attached a scale, which is attached to the tendon lines of the hand. Turning the screw generates gripping force. You turn the screw until you've hit the precise input force you want (1kg). This allows you to control the forces you are putting into the hand in order to get a precise efficiency measurement (force in/force out).

Now that you know that you have exactly 1kg of tendon pull at the wrist, you take the measurement on the second scale, which is attached to the fingertips by a bar. This output will show grip strength. Let's say the second scale says 100grams. Now you can say that the fingers are operating at 10% efficiency (1kg at the wrist translates to 100grams at the fingertips)

Now you know that 90% of the potential gripping force is being consumed by mechanical gremlins. So you change out the plastic snap pins for Chicago screws. You dial it back up to 1kg of pull at the wrist using the screw. Now you're measurement is 125 grams at the fingertips.

With the Chicago screws, (hypothetically) you've increased the grip strength of the hand by 25%.

Now you take off the elastics, and swap in some Bowden cables. You dial it back up to 1kg at the wrist using the screw, and you take another measurement at the fingertips, which is 175grams. You've increased the grip strength vs the original (hypothetically) by 75% using by changing these 2 components.

Next you swap out the nylon shade cord, and swap in some .5mm 100# fishing line. You dial it back up to 1kg at the wrist using the screw, and take the measurement at the fingertips which is 200 grams. You've doubled the strength of the grip (purely hypothetically).

Using this tool, (or a much better future design) you can determine quantitatively exactly what effect each of the components has to the grip strength of the hand.

You can also play around and at 5kg or 10kg, at the wrist to see how increased force effects the friction, and the efficiency of the hand. I'd like to generate a grip force curve using 1kg, 2kg, 3kg, 4kg and 5kg.

My device is a terrible design, but everyone has to start somewhere. My motto is fail early, fail often, and fail better next time.

To see an incredible design by +[Skip Meetze](#) that is superior in almost every respect, take a look at this incredible testing tool for measuring grip efficiency (nota Marzo 2018, el link no funciona):

<https://plus.google.com/105069495767890395465/posts/CD7RfgpmjXe>

Looking at Skip's design made my day! I think we're very close to coming up with a testing tool that multiple people can quickly build to start rigorously testing hands, and figuring out what will bring the best grip strength to e-nable hand users.

I'd love to see some other folks take a stab at this, or troubleshoot designs as they emerge.

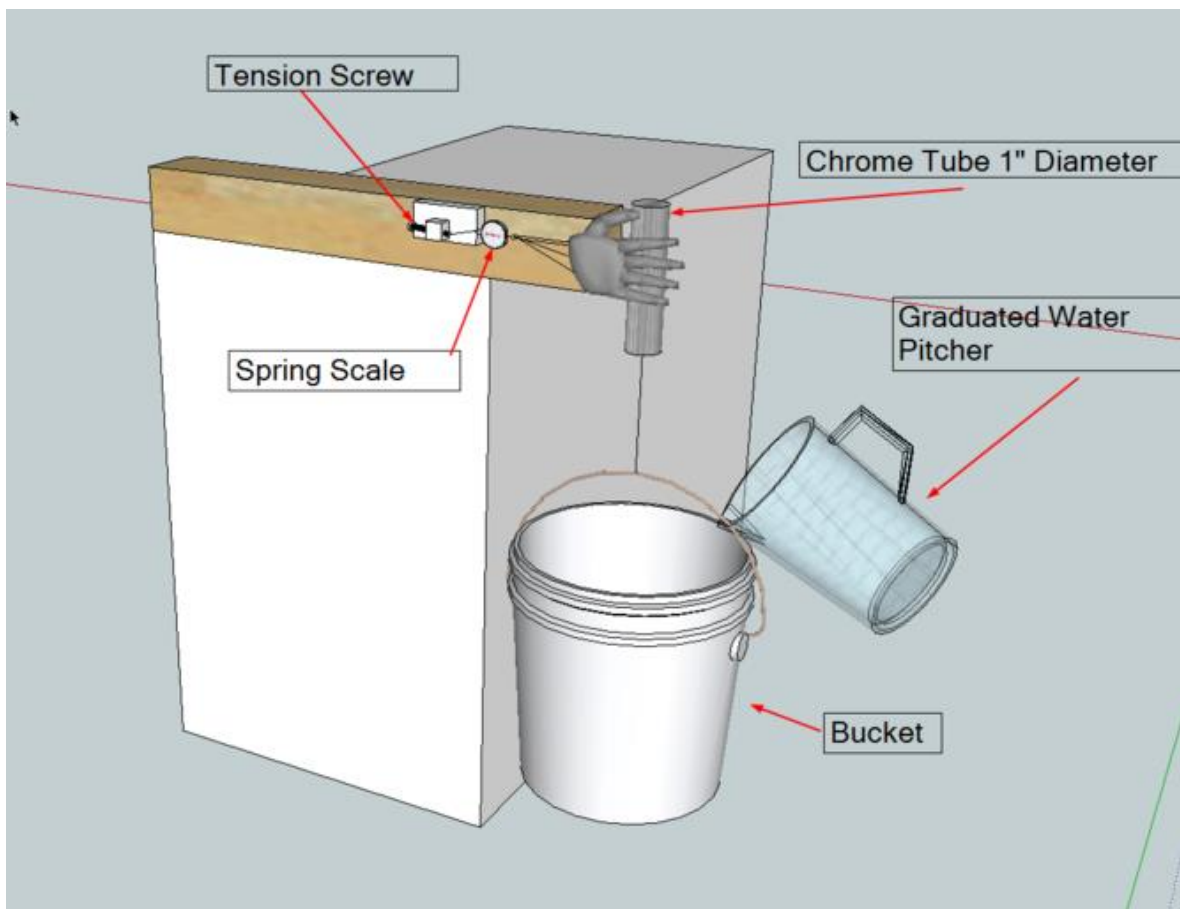
**Let's get a standardized e-nable hand testing tool built, and start getting some hard numbers that we can use to evaluate our hands!**

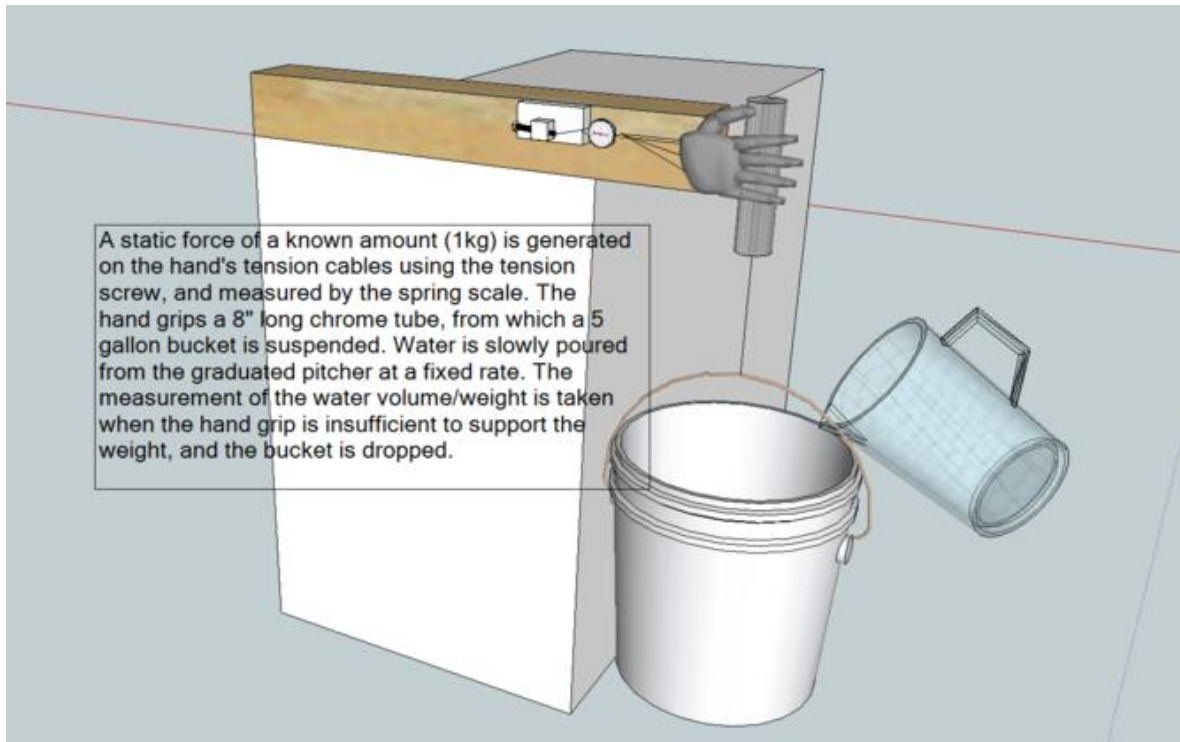
## 2. Grip Efficacy Testing Devices

This is a repository for testing devices that are intended to measure how effectively a prosthetic hand is at gripping real world objects. It sounds pretty similar to Mechanical Efficiency, but it's quite different. Mechanical Efficiency testing measures how efficiently a prosthetic hand translates wrist flexion into gripping force. Grip Efficacy tests how effectively finger gripping force can be translated into holding objects.

**Designs for grip efficacy testing apparatus should test how much force it takes for a given hand design to hold a given object**

### 2.1.Hall GET (“Grip Eff Test”) Devicev1





Here is my first Grip Efficiency Testing (GET) Device along with the description and summary I provided on the e-nable website: This tool attempts to measure something very different. It's an attempt to measure how efficient grip configurations are at actually holding an object.

I'll give you an example to illustrate why this second test is important, and how it works.

Let's imagine that we have 2 hands that we want to test. The first hand is a mechanical marvel. It has sintered bronze bearings in all the joints, teflon coated tendon tubes, kevlar tendons, and bowden tubes in lieu of elastics. It's 100% efficient due to all of these expensive upgrades such that it can translate 1kg of wrist flexion force into exactly 1kg of gripping force at the fingers. But it has hard, slick ABS in all gripping surfaces.

The second hand is just a standard Raptor hand with plastic snap pins, elastics, and poorly sanded joints. It's only 20% efficient (1kg of wrist flexion force generates 200grams of finger grip force). But it has thick, soft, conforming, high friction rubber on all gripping surfaces.

Now let's imagine you want to see which one can actually grip objects better in the real world. To do this, you take a 1" diameter chrome cylinder 8" in length. From this tube, you suspend an empty bucket. You use a simple tensioning screw to generate a fixed force of exactly 1kg of force, measured by a spring scale to simulate 1kg of wrist flexion.

You then place the chrome cylinder in the grip of the hand. Now you start pouring 1 liter of water in the bucket at a slow, fixed rate.

Which hand will fail first and drop the bucket? My guess is that the mechanical marvel can't hold the empty bucket. I'd also bet that the Raptor with the grippy, high friction rubber on all gripping surfaces can hold the cylinder even with a full liter of water poured into the bucket.

That's basically what this testing rig does. Its purpose is to help us to understand how different grip configurations affect the actual grip strength in the real world. Maybe high friction rubber makes a huge difference. Maybe adding a 3rd phalange makes it worse. Maybe a molded Oogoo palm with 4 raised bumps that mate with the fingers works like magic. We'll never know until we test different gripping configurations with precise force inputs, a consistent gripped object, and known weights.

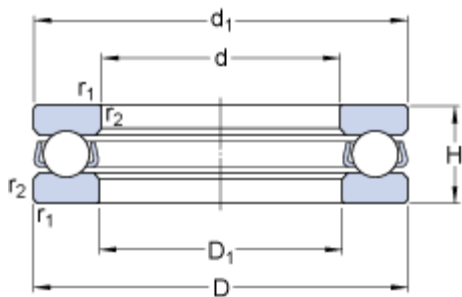
You can vary the test by changing the grip input force to 2kg by turning the tensioning screw more. I'd like to test hands in 1kg increments from 1kg - 10kg to see how varying the wrist flexion force affects the amount of weight each grip configuration can hold.

You can also vary the object being gripped. Instead of the chrome cylinder, you might try a square, or an oval, or a rubber ducky.

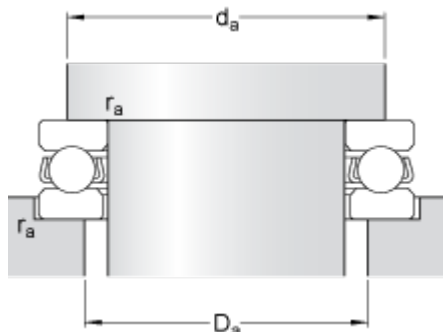
The reason I designed this test is that I think we need to start engineering friction more effectively. We need to reduce bad friction in the joints, and increase good friction in the gripping surfaces. We can't do much to increase the amount of force our amputee beneficiaries can generate with their wrists, but we can do an awful lot to increase the effectiveness of their grips by reducing bad friction, and increasing good friction.

**51100**

product\_table\_popular\_item[76]

**Dimensiones**


d	10	mm
D	24	mm
H	9	mm
d <sub>1</sub>	≈ 24	mm
D <sub>1</sub>	≈ 11	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 0.3	mm

**Dimensiones de los resaltes**


d <sub>a</sub>	min. 19	mm
D <sub>a</sub>	max. 15	mm
r <sub>a</sub>	max. 0.3	mm

**Datos del cálculo**

Capacidad de carga dinámica básica	C	8.71	kN
Capacidad de carga estática básica	C <sub>0</sub>	12.2	kN
Carga límite de fatiga	P <sub>u</sub>	0.45	kN
Velocidad de referencia		9500	r/min
Velocidad límite		13000	r/min
Factor de carga mínima	A	0.0012	

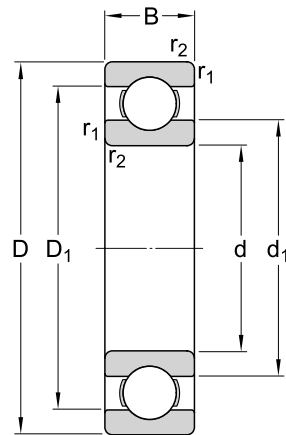
**Masa**

Rodamiento de masa (incluida la arandela de asiento, cuando corresponde)	0.02	kg
--	------	----

# Deep groove ball bearings

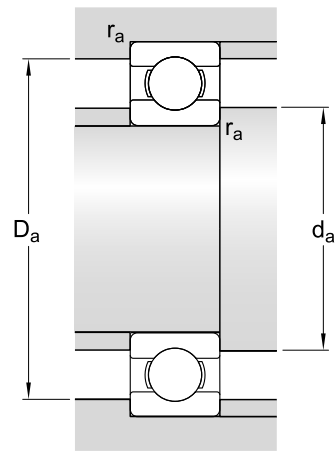
61900

## Dimensions



$d$	10	mm
$D$	22	mm
$B$	6	mm
$d_1$	≈ 13.9	mm
$D_1$	≈ 18.2	mm
$r_{1,2}$	min. 0.3	mm

## Abutment dimensions



$d_a$	min.	12	mm
$D_a$	max.	20	mm
$r_a$	max.	0.3	mm

### Calculation data

Basic dynamic load rating	C	2.7	kN
Basic static load rating	$C_0$	1.27	kN
Fatigue load limit	$P_u$	0.054	kN
Reference speed		70000	r/min
Limiting speed		45000	r/min
Calculation factor	$k_r$	0.02	
Calculation factor	$f_0$	14	

### Mass

Mass bearing		0.01	kg
--------------	--	------	----

In addition to the information provided on this page, consider what is provided under Deep groove ball bearings.

For information on selecting the appropriate bearing for a given application, and interpreting the data on this page, refer to Bearing selection process.

For general information on rolling bearings, refer to General bearing knowledge.



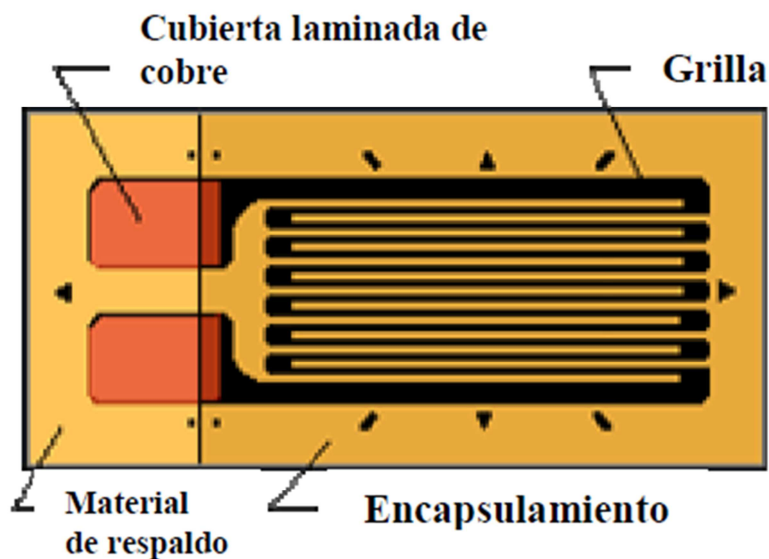


## PRÀCTICA NÚM. 2



## EXTENSOMETRIA





## PRÁCTICA NÚM. 2

# EXTENSOMETRIA

### **Normativa de seguridad**

*Aunque la práctica no resulta potencialmente peligrosa, deben respetarse las siguientes precauciones de seguridad:*

- *Permanecer en el sitio de trabajo indicado por el profesor, y no pasearse por el laboratorio ni manipular material distinto al presentado en este manual.*
- *Trabajar sentado de forma cómoda evitando la pérdida de equilibrio sobre los taburetes del laboratorio, en las zonas asignadas para cada grupo.*
- *Manejar con cuidado los componentes empleados para evitar su caída o posibles golpes o aplastamientos.*
- *No manipular los enchufes e instalaciones eléctricas del laboratorio con las manos húmedas o mojadas.*



## DURADA

2 hores



## OBJECTIUS

Donar a conèixer les tècniques extensomètriques per a la mesura de deformacions i tensions en peces. Realitzar la instal·lació d'una banda extensomètrica per a conèixer tots els passos necessaris. Prendre una mesura sobre la banda extensomètrica instal·lada en una peça carregada i comparar-la amb els resultats analítics obtinguts per al mateix cas. Conèixer l'instrumental necessari per a l'anàlisi experimental de tensions fent ús de mitjans extensomètrics.



## FONAMENTS TEÒRICS

Per a l'obtenció de les tensions el procediment usual és mesurar les deformacions i obtenir aquelles a partir d'aquestes. El mètode més emprat per a la mesura de les deformacions es basa en la utilització de resistències elèctriques. Es fonamenta en el principi que la resistència elèctrica d'un conductor varia quan se la sotmet a una deformació mecànica, ja que la resistència  $R$ , està relacionada amb la longitud  $L$ , la secció  $S$  i la resistivitat  $\rho$  a través de l'equació:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

i en deformar-se la resistència canvien  $\rho$ ,  $L$  i  $S$ .

L'element mesurador o resistència s'anomena galga o banda extensomètrica. El mètode emprat per a obtenir la deformació consisteix a enganxar la galga a la superfície de la peça en el punt i amb l'orientació per als quals es vol conèixer la deformació, sotmetre la peça a la càrrega de treball i mesurar la variació de resistència que es produeix en la galga, a partir de la qual s'obté la deformació existent.

La resistència d'un conductor elèctric pot expressar-se, com ja s'ha dit, mitjançant l'equació:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

Derivant aquesta expressió tenim:

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - \frac{dS}{S}$$

Com que  $S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ , tenim que  $dS = \frac{\pi \cdot D \cdot dD}{2}$ , amb la qual cosa

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - 2 \frac{dD}{D}$$

Si anomenem  $\varepsilon$  a la deformació longitudinal unitària, i tenint en compte la relació de Poisson ( $\mu$ ),

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \varepsilon + 2\mu\varepsilon$$

S'anomena *factor de banda*  $K$  a la relació entre la variació unitària de resistència elèctrica i la variació unitària de longitud de la banda extensomètrica,

$$K = \frac{dR/R}{\varepsilon} = 1 + 2\mu + \frac{1}{\varepsilon} \frac{d\rho}{\rho}$$

Si la resistivitat  $r$  no varia amb la deformació,  $K = 1 + 2\mu$  i com  $\mu \cong 0,3$  per a molts metalls, tenim  $K \cong 1,6$ . No obstant, s'aconsegueixen factors de banda superiors, que són més interessants, ja que d'aquesta manera per a una mateixa deformació la variació de resistència és major, amb la qual cosa es redueixen els requeriments de sensibilitat del muntatge de mesura.

Normalment el fabricant ens dóna el valor de  $K$  per a les seues bandes i també el de  $R$ , amb la qual cosa sols s'ha d'obtenir el valor de l'increment de resistència  $\Delta R$  per a saber la deformació:

$$\varepsilon = \frac{1}{K} \frac{\Delta R}{R}$$

La deformació unitària obtinguda d'aquesta manera és adimensional. Aquesta magnitud sol multiplicar-se per un factor de  $10^6$  i es parla llavors de *microdeformacions*, utilitzant-se el símbol ( $\mu\varepsilon$ ) per a designar-les.

### La galga extensomètrica

La galga extensomètrica (figura 1) es compon de dues parts: matèria de suport i resistència impresa. Al mateix temps, la resistència impresa consta de dues parts: la reixeta, que és el conductor en zig-zag alineat d'acord a una direcció predominant, i els terminals, que són els extrems de la reixeta als quals es connecten els cables que van a l'aparell de mesura.

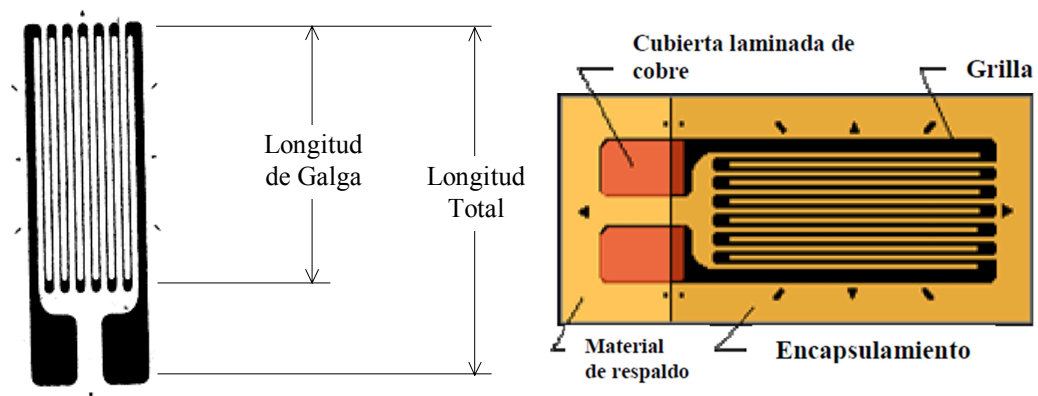


Figura 1

La resistència dels terminals és menyspreable davant de la de la reixeta, de forma que és aquesta última la que defineix la resistència de la galga. El tipus i grandària de les galgues depèn de l'aplicació que se'ls vulga donar. Aquesta es realitza en funció de:

- Dimensions de la zona d'instal·lació.
- Distribució de tensions i deformacions. Si hi ha concentració de tensions s'ha de recórrer a bandes menudes.
- Material sobre el qual es mesura. Si el material és poc homogeni (formigó, materials compostos) convé emprar una banda més gran que per a un material homogeni (acer, alumini).
- Variació de les tensions amb el temps. Si es pretén mesurar un fenomen transitori ràpid s'han d'emprar bandes menudes. En general s'ha d'utilitzar una longitud de banda relacionada amb la longitud d'ona de l'excitació:  $\lambda / 10 < L < \lambda / 6$ .

Per a mesures en una sola direcció s'utilitzen bandes normals (figura 2). Si es pretén mesurar en diverses direccions s'ha de recórrer a les rosetes, grups de diverses bandes properes entre si formant un angle determinat (figura 3).

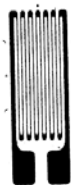


Figura 2

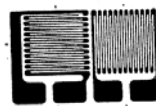
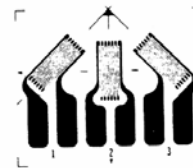
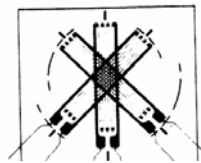


Figura 3

Quant als materials emprats en bandes extensomètriques, es caracteritzen pel seu factor de banda, la deformació màxima i les prestacions en fatiga. Els més emprats són:

MATERIAL	FACTOR BANDA	DEFORMACIÓ MÀXIMA	PRESTACIONS FATIGA
Constantan	2.0	6 %	Bona
Karma (Cr-Ni)	2.1	2 %	Molt bona
Constantan recuit	2.0	20 %	Bona
Isoelàstic (Fe-Cr)	3.2	2 %	Excel·lent
Semi-conductor (Si)	100		

---

## Problemes associats amb l'ús de bandes

Els principals problemes que apareixen en mesurar amb bandes extensomètriques són :

- Les variacions de temperatura, que provoquen dilatacions diferencials entre la peça i la banda que té enganxada, a més de variacions en la pròpia resistència de la banda, produint-se llavors un falseig de la mesura de deformació. Per a evitar aquest problema es recorre al muntatge en mig pont.
- La humitat, que pot canviar la resistència elèctrica entre el mesurador i terra, afectant per tant a les lectures de resistència.
- Els problemes de connexions defectuoses en la soldadura, desenganxat de la banda per rigidesa excessiva del cable, etc.

### Mesura de la deformació. Muntatges i instrumental.

La mesura de la deformació de la peça es basa en l'obtenció de la variació de resistència de la banda extensomètrica quan se la sotmet a la mateixa deformació. S'utiliza el muntatge en pont de Wheatstone de la figura 4.

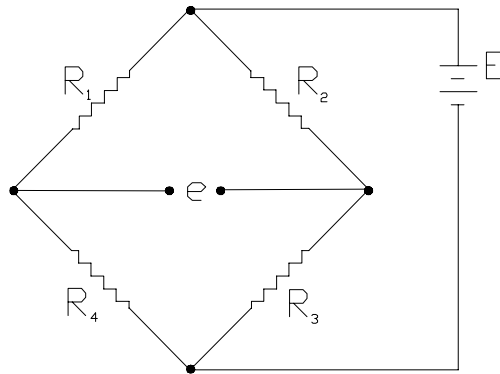


Figura 4

Es pot demostrar que la tensió  $e$  en el pont val:  $e = E \cdot \left( \frac{R_1}{R_1 + R_4} - \frac{R_2}{R_2 + R_3} \right)$ .

Si  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$  es diu que el pont està equilibrat, estant  $e = 0$  en aquest cas, i es compleix per tant:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

El muntatge més senzill és en *quart de pont*. En aquest cas una de las resistències, per exemple  $R_1$ , representa la banda extensomètrica, mentre que les altres tres són resistències patró de valor igual a  $R_1$ . Quan la banda es deforma es produeix una variació en  $R_1$  ( $\Delta R_1$ ) que provoca el desequilibri del pont, donant lloc a una tensió  $e$ , no nul·la, de valor:

$$e = E \cdot \left( \frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_4} - \frac{R_2}{R_2 + R_3} \right)$$

expressió a partir de la qual es pot conèixer  $\Delta R_1$  a partir de la mesura de la tensió  $e$ . Finalment, el propi aparell de mesura realitza la conversió a deformació a través de l'expressió:

$$\varepsilon = \frac{1}{K} \frac{\Delta R}{R}$$

Si en el muntatge del pont de Wheatstone fem variar totes les resistències s'obté una tensió de desequilibri:

$$e = E \cdot \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

En el muntatge en *mig pont* es munten dues bandes extensomètriques, corresponents a  $R_1$  i  $R_4$ , com es mostra en la figura 5, per a aconseguir, per exemple una compensació de l'efecte de la temperatura. La banda  $R_1$  es situa sobre la peça, mentre que la  $R_4$  es munta en una peça del mateix material i sotmesa a la mateixa temperatura però sense càrrega. D'aquesta manera l'increment de resistència en  $R_1$  deguda als efectes de variació de la temperatura es compensa amb l'equivalent de  $R_2$  que apareix amb signe contrari en l'equació.

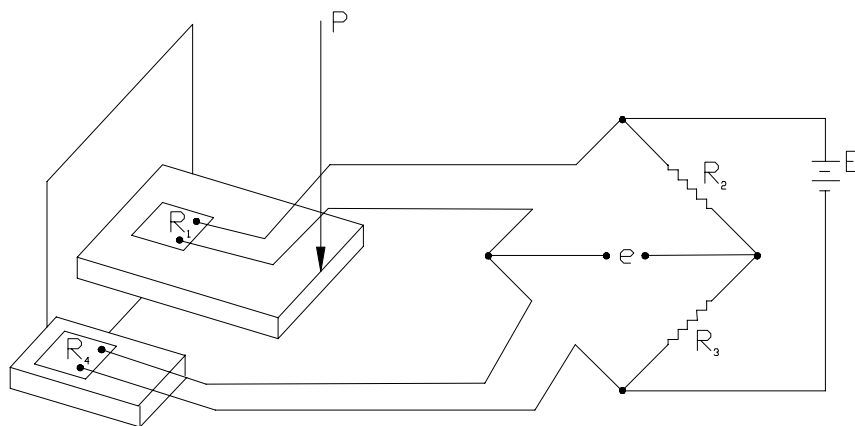


Figura 5

Una altra possibilitat de muntatge en mig pont és el de la figura 6, on, a més de compensar-se els efectes de temperatura, s'obté una mesura doble de la deformació, ja que les deformacions de  $R_1$  i  $R_4$  són iguals i de signe oposat si la secció de la peça és simètrica.

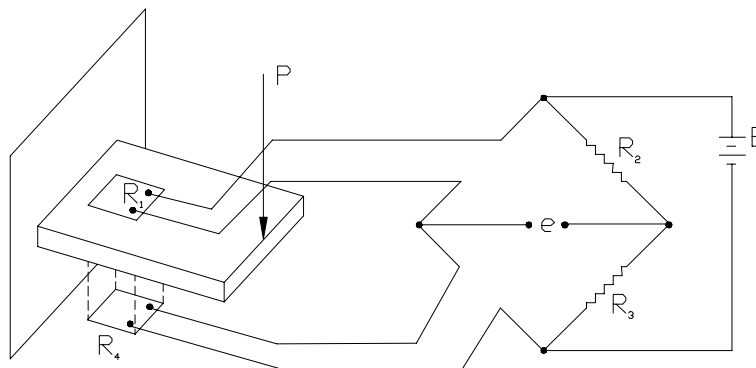


Figura 6



Si les quatre resistències del pont corresponen a galgues extensomètriques, el muntatge s'anomena *pont complet*. S'utilitza per a muntatges com els de les figures 7 i 8, corresponents a transductors per a torsió i flexió.

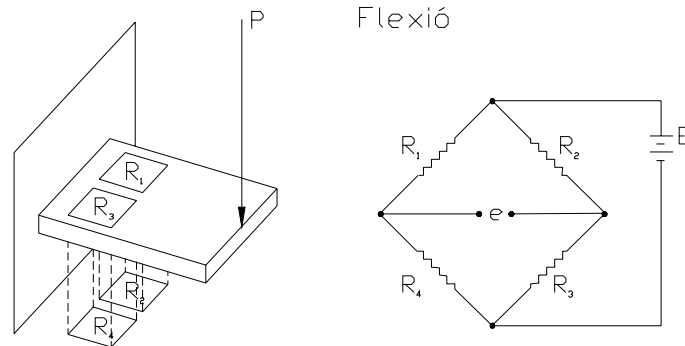


Figura 7

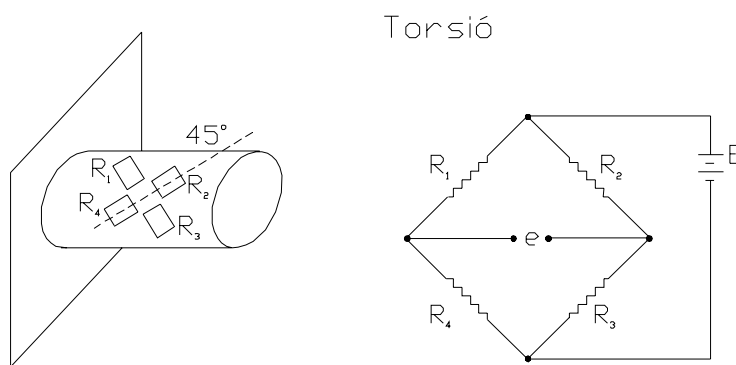


Figura 8

El muntatge en quart de pont pot realitzar-se amb dos o tres fils. La figura 9 representa el *muntatge amb dos fils*. El problema que planteja és que la resistència del cable que va des dels terminals de la banda a l'aparell de mesura afecta tota ella a la mateixa branca del pont, provocant un cert error en la mesura. Per a solucionar-ho es recorre al *muntatge amb tres fils*, que es representa en la figura 10. Si la instal·lació es realitza d'aquesta forma, la resistència del cable que s'afegeix en les dues branques del pont són iguals, compensant-se l'error anterior.

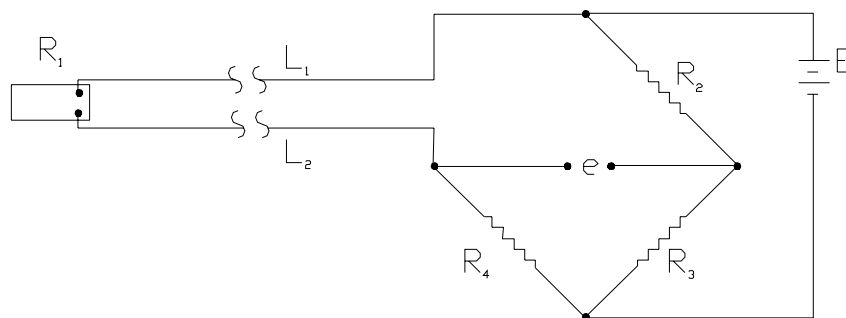


Figura 9

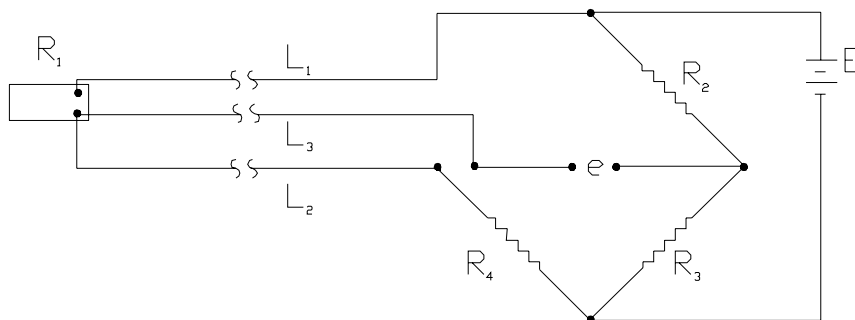


Figura 10

Per a la mesura de deformacions amb l'ajuda de bandes o transductors extensomètriques utilitzarem en la pràctica l'indicador digital de deformació P-3500. Es tracta d'un aparell portàtil, vàlid per a muntatges en quart, mig i pont complet. Funciona amb 6 bateries substituïbles de 1,5 v. Les seues prestacions són:

- Mesures estàtiques o dinàmiques fins a 2000 Hz.
- Mesura de deformacions fins a 20000  $\mu\epsilon$  amb resolució 1 $\mu\epsilon$  i fins a 200000  $\mu\epsilon$  amb resolució 10  $\mu\epsilon$ .
- Factor de banda seleccionable entre 0,5 i 9,9 amb resolució 0,001.
- Tensió d'excitació del pont 2v.

Les instruccions d'operació es presenten en l'annex 1.



## MATERIAL I DADES DISPONIBLES

- Vídeo de demostració del procediment d'instal.lació de bandes.
- Superfície de vidre.
- Maletí amb el material necessari per a la instal.lació de les bandes extensomètriques.
- Platina d'alumini de 20x5 mm en què instal.larà la banda.
- Regle metàl.lic de 50 cm.
- Mòdul d'elasticitat de l'alumini  $E = 0,7 \times 10^4 \text{ Kg/mm}^2 = 6,86 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$
- Gruixària de la banda més la capa de goma d'enganxar  $t = 0,054 \text{ mm}$ .
- Càrrega P de 500 g.
- Longitud de voladís des de la càrrega a la banda 200 mm.
- Aparell per a l'estudi de la flexió.



## PROCEDIMENT



- Veieu el vídeo de demostració sobre el procediment d'instal·lació de bandes.
- Identifiqueu el material per a la instal·lació de les bandes subministrat en el maletí.
- Instal·leu la banda extensomètrica en la peça a 20 cm del punt de càrrega, que al mateix temps es situarà a un centímetre de l'extrem, d'acord amb els passos de l'annex 2:
  - Netegeu superfície de la peça amb desgreixant, i preparació de la superfície polint-la i amb productes àcid i base.
  - Marqueu en la peça la línia de referència sobre la que s'instal·larà la banda, amb ajuda d'un llapis.
  - Enganxeu la banda sobre la peça, aplicant inicialment una capa de catalitzador a la banda i després ficant goma d'enganxar entre la mateixa i la peça.
  - Espereu un temps per a assegurar un bon enganxat.
  - Soldeu el cable sobre els terminals de la banda.
  - Netegeu les restes de soldadura amb dissolvent.
  - Protegiu la banda amb una capa de material protector.
- Col·loqueu la platina d'alumini sobre la plataforma de mesura.
- Connecteu els cables de la banda extensomètrica a l'indicador digital P-3500. La connexió és en quart de pont, seguint les instruccions indicades en la tapa de l'indicador P-3500.
- Ajusteu el factor de banda i equilibreu el pont segons l'annex 1.
- Col·loqueu la càrrega P d'acord amb la figura 11 sobre l'aparell de flexió.
- Obteniu la deformació unitària per lectura sobre el P-3500.
- Feu el càlcul analític de la deformació unitària en el punt i compareu-lo amb el valor obtingut experimentalment.
- Valoreu l'error obtingut.

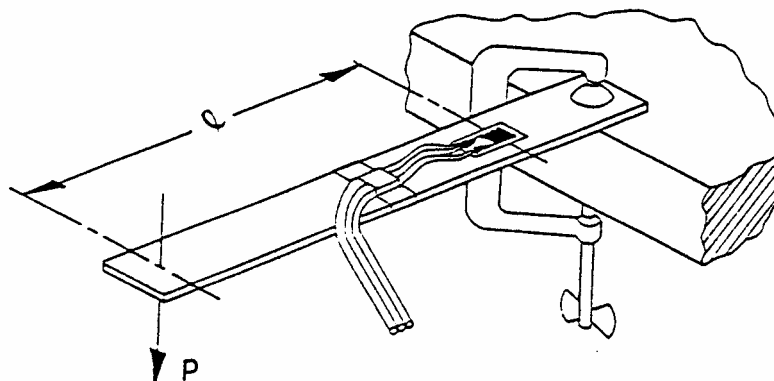


Figura 11

## ANNEX

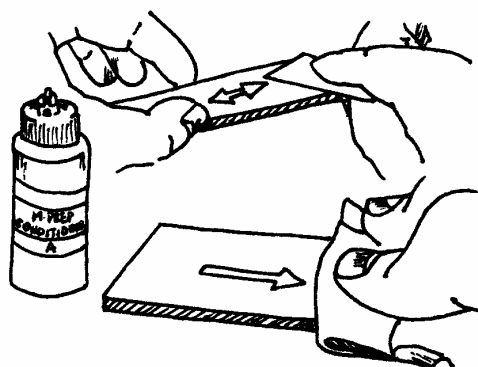
Els passos per a instal.lar una banda extensomètrica són els següents:

1.- Desgreixeu completament la zona d'instal.lació mitjançant el dissolvent CSM-1, que ve en forma d'aerosol.



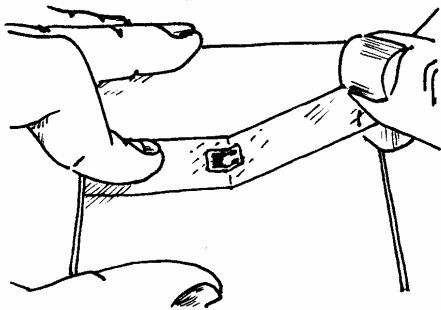
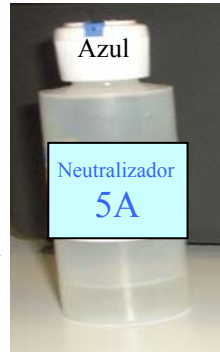
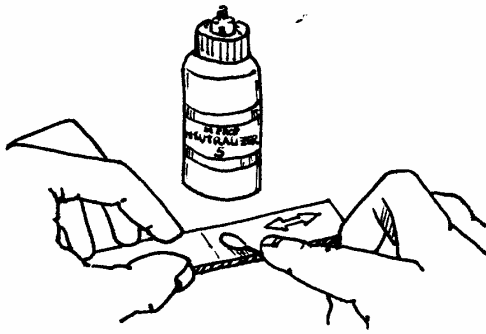
2.- Poli la superfície utilitzant paper d'escatar de gra 230 en primer lloc, per a acabar amb un paper de gra més fi (400),

mullant la superfície amb el condicionador de metall MCA. De seguida eixugueu la superfície amb gases netes, fent una sola passada amb cadascuna d'elles, i repetiu l'operació fins que la gasa aparega completament neta.

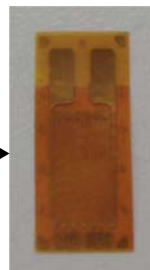
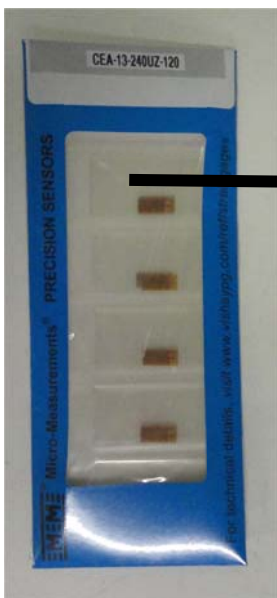


Amb un llapis de punta semi-dura (4H), traceu els eixos de posicionament de la banda. A continuació, mulleu un bastonet de punta de cotó amb el acondicionador de metall MCA i passeu-lo sobre les traces de llapis. Repetiu l'operació amb bastonets secs fins que apareguen nets de residus de grafit. Eixugueu la superfície amb una gasa.

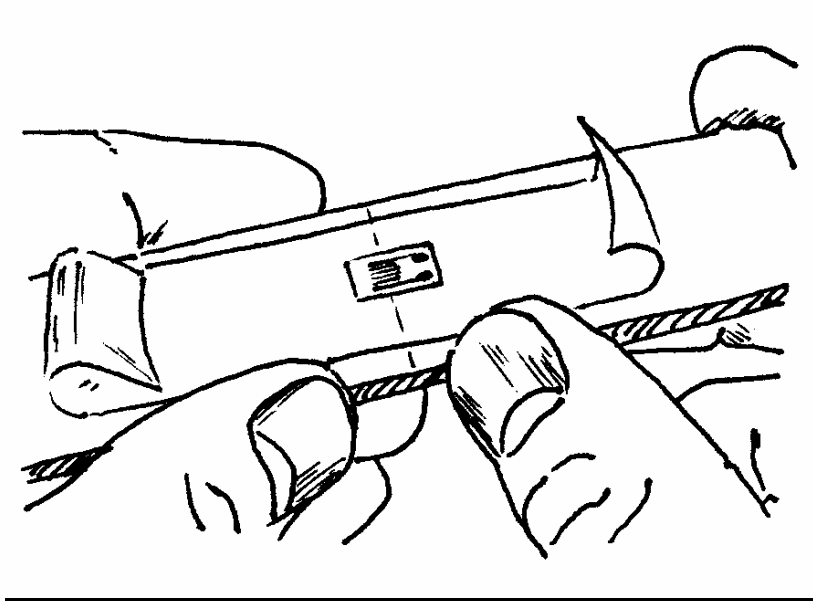
3.- Mulleu la superfície amb el neutralitzador 5A. Eixugueu la superfície amb una gasa, sempre d'una sola passada. No fregueu la superfície, per a no dipositar residus contaminants



4.- Amb ajuda d'unes pinces, extraieu la banda de la seua funda de plàstic i col.loqueu-la sobre el vidre (completament net). Cobriu la banda amb cinta adhesiva, centrant-la. Alceu la cinta amb un angle menut ( $<45^\circ$ ), alçant al mateix temps la banda amb ella, segons es pot veure a la figura.

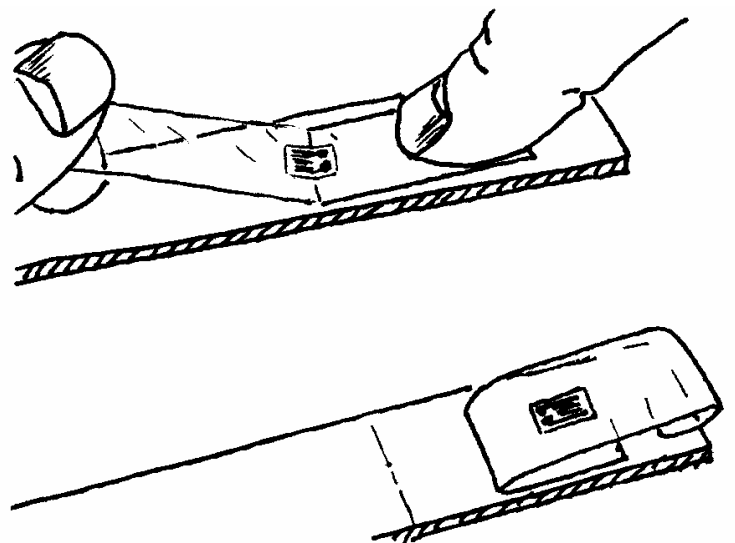


Observar la parte que no tiene barniz para poder soldar en ella

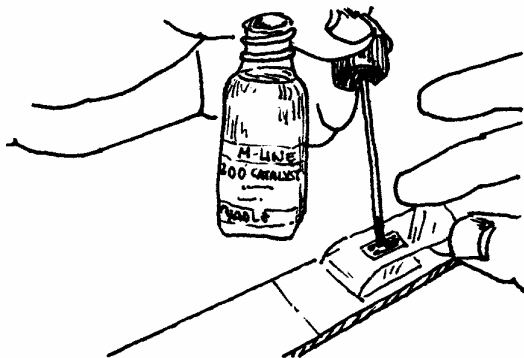


5.- Situeu la cinta i la banda sobre el punt de mesura de tal forma que els triangles d'alineament de cada costat de la reixeta coincidescuen amb les marques de posicionament sobre la peça. Si el conjunt sembla estar mal alineat, repetiu l'operació anterior alçant novament la cinta i posicionant-la correctament. Quan el posicionament siga correcte, pressioneu un extrem de la cinta per què quede firmement immobilitzat sobre la peça.

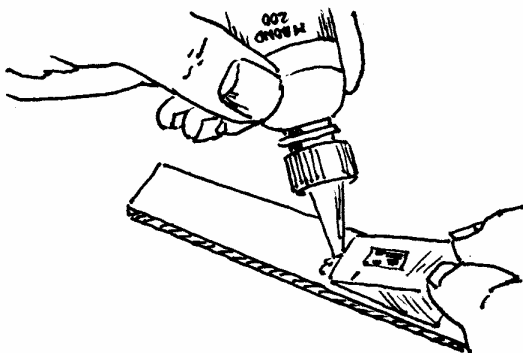
6.- Alceu novament la cinta des de l'altre extrem segons un angle aproximat de 45° fins a lliurar la banda del contacte amb la superfície de la peça, deixant un espai d'aproximadament 10 mm entre la vora de la banda i el límit de contacte de la cinta amb la superfície. Subjecteu l'extrem lliure del paper adhesiu per a deixar la banda horitzontal respecte a les superfícies exposades que s'han d'enganxar.



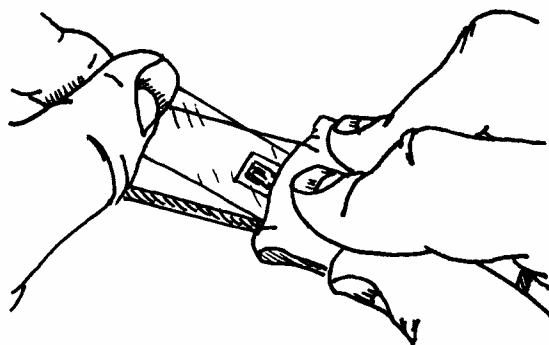
7.- És el moment en què el catalitzador del M-Bond 200 pot ser aplicat sobre les superfícies d'enganxada de la banda perquè l'adhesiu M-Bond enduresca més ràpidament i amb més fiabilitat. Només cal una quantitat molt menuda de catalitzador, que serà plicat passant suament el pinzell sobre el revers de la banda. Deixeu eixugar un minut a l'aire lliure.

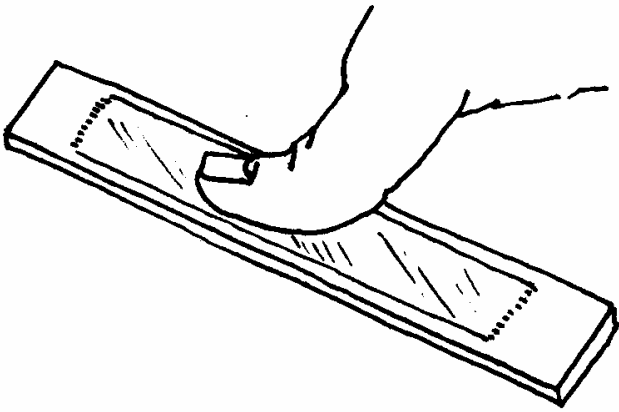


8.- Alceu l'extrem lliure de la cinta adhesiva i, mantenint-la en aquesta posició, apliqueu una o dues gotes d'adhesiu M-Bond 200 a la vora del plec format per la cinta amb la superfície de la peça i a uns 10-15 mm de la zona de fixació final de la banda.



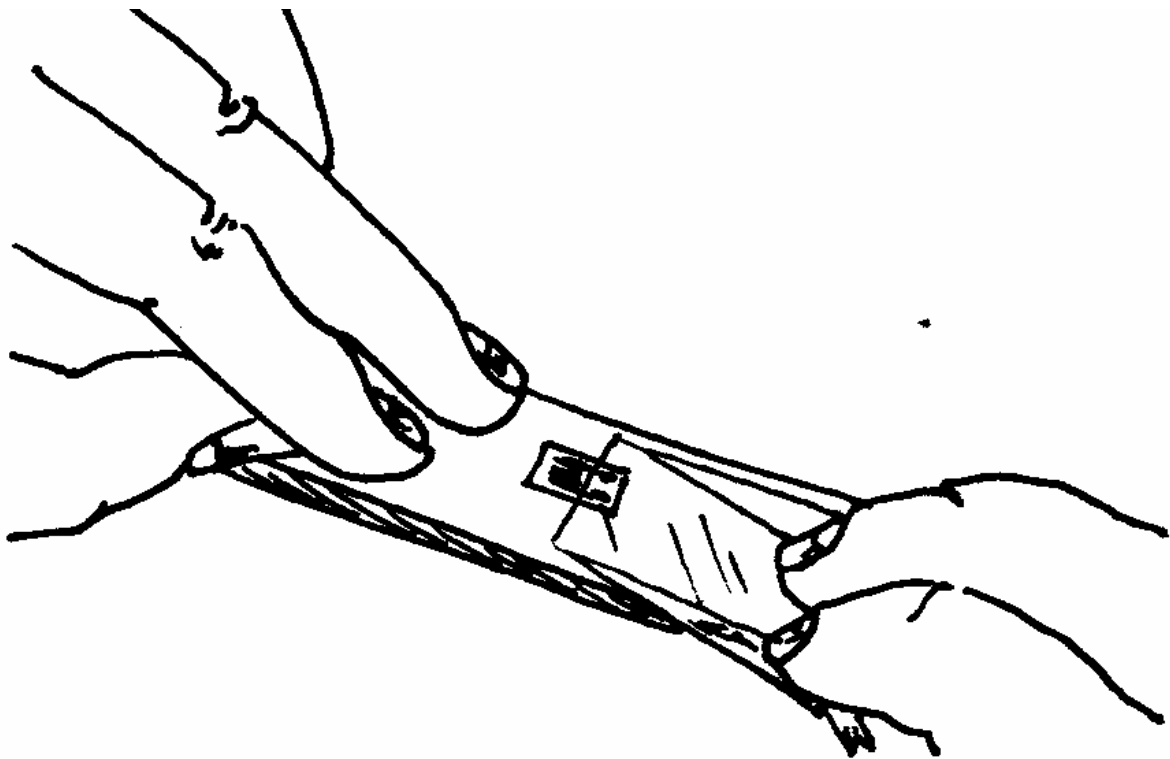
9.- Inmediatament, roteu la cinta adhesiva a un angle de  $30^\circ$  de tal forma que la banda estiga quasi verticalment en la seua posició final. Mantenint la cinta estirada, pressioneu lentament, però fermament, amb una gasa en un sol moviment damunt la banda, posant-la en contacte amb la peça. S'ha de fer una pressió ferma amb els dits quan es passa la gasa sobre la cinta, per què la capa d'adhesiu siga uniforme.



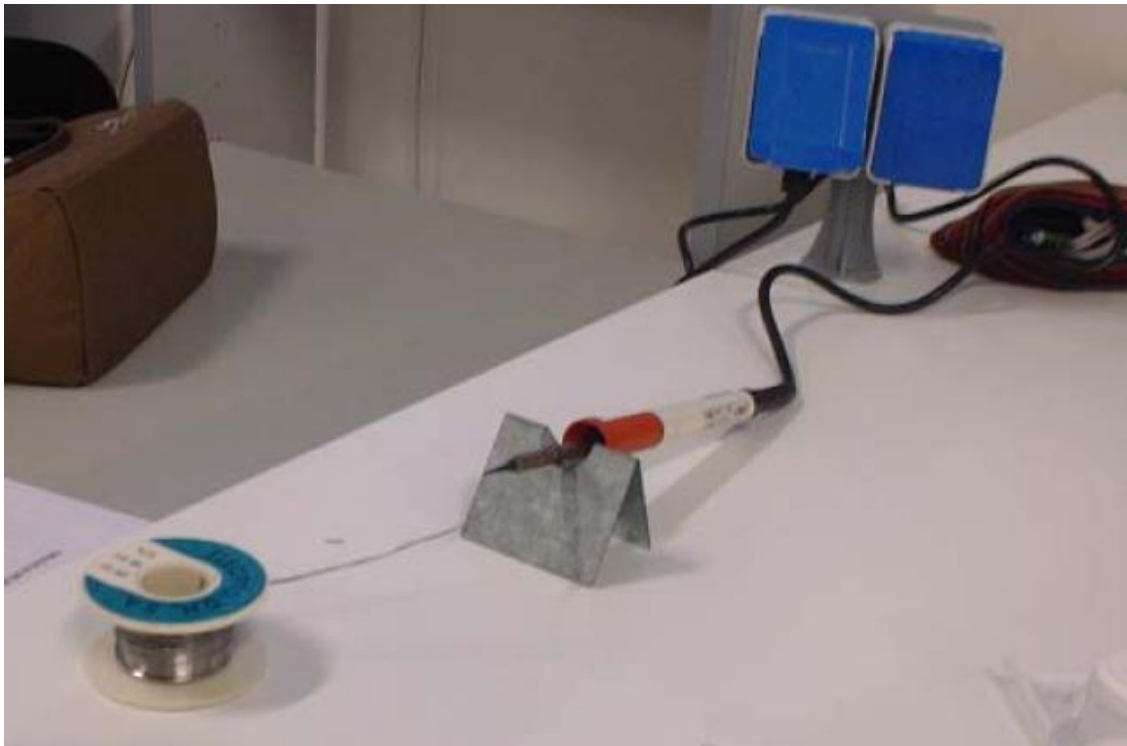


10.- Inmediatamente después, aplique una presión con el dedo pulgar sobre la banda impresa. Mantenga esta presión durante un minuto. Espere dos minutos antes de levantar la cinta adhesiva.

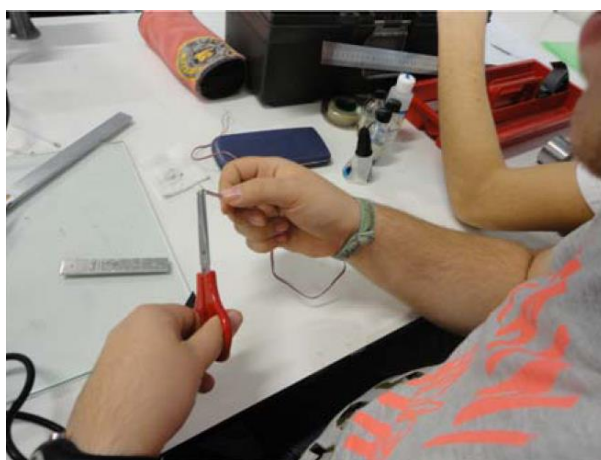
11.- La banda se encuentra firmemente adherida a su lugar. Para soltar la cinta, gírela directamente sobre ella misma, desenganchándola lentamente y firmemente de la superficie.







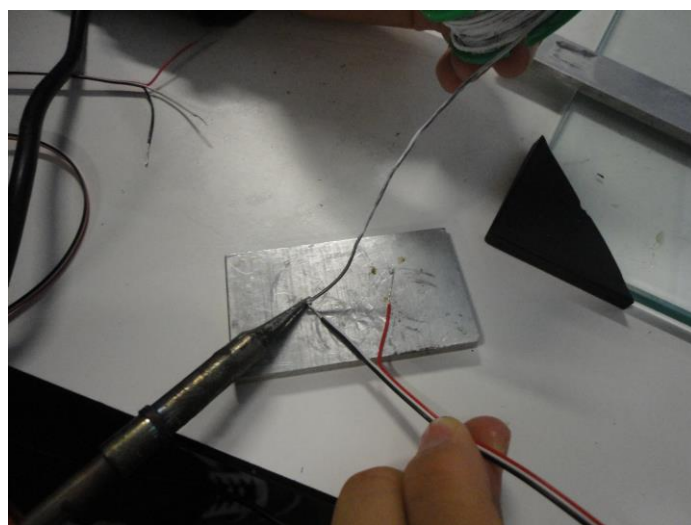
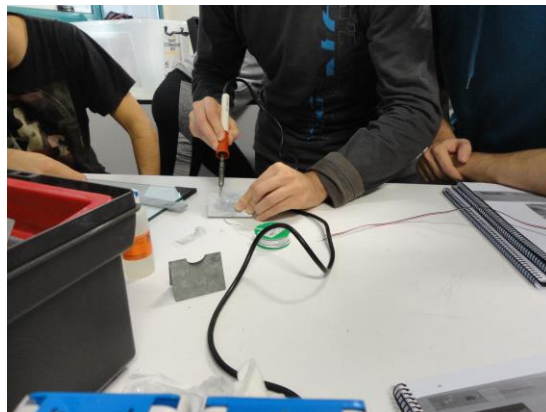
ENCHUFAR EL SOLDADOR



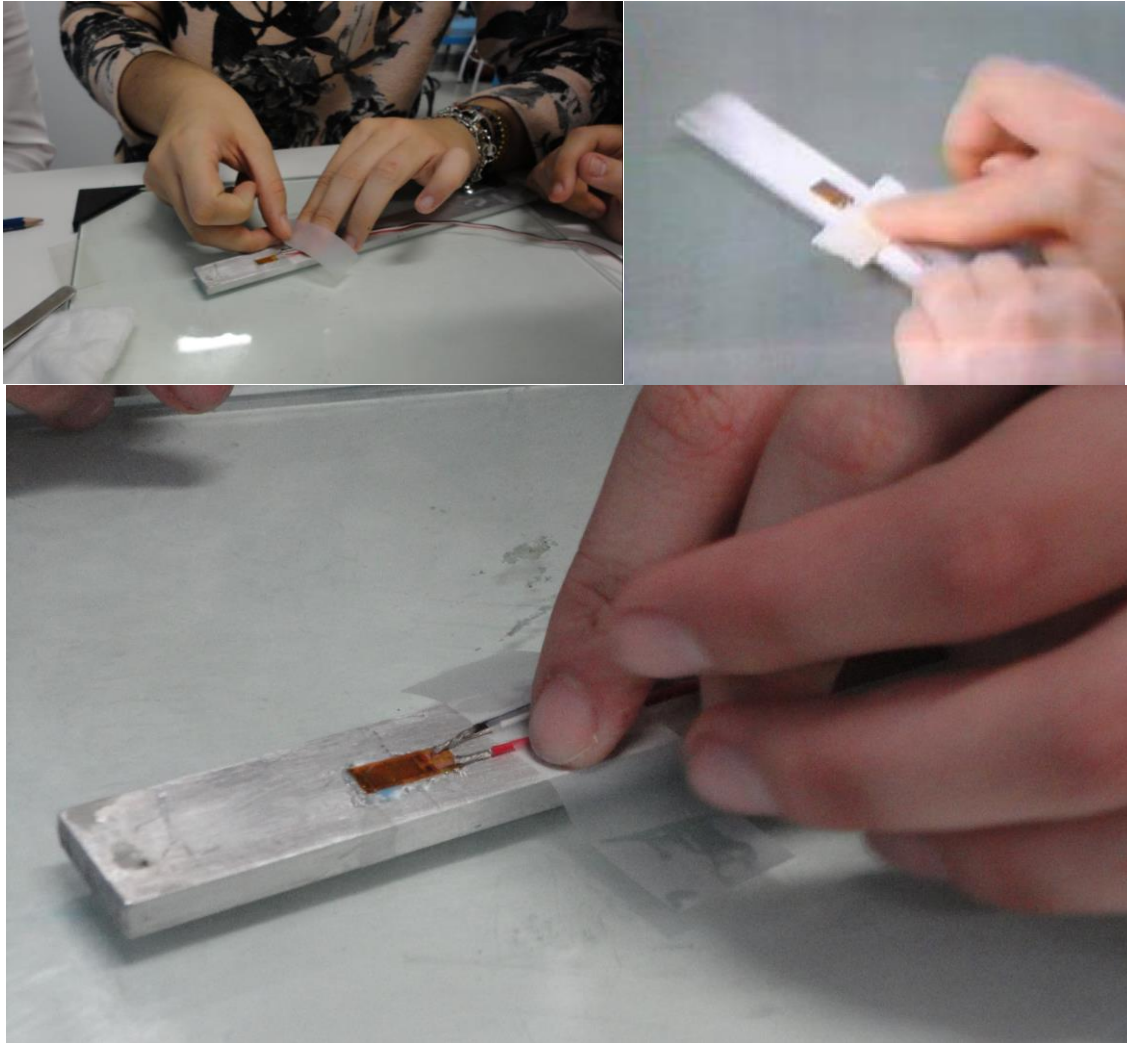
pelado de los cables



unir negro y blanco,



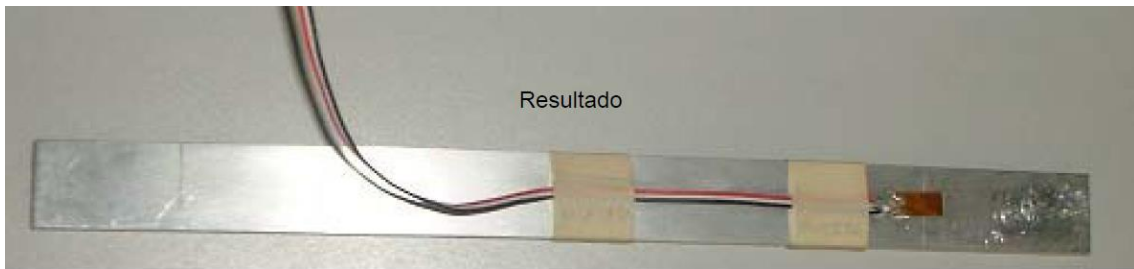
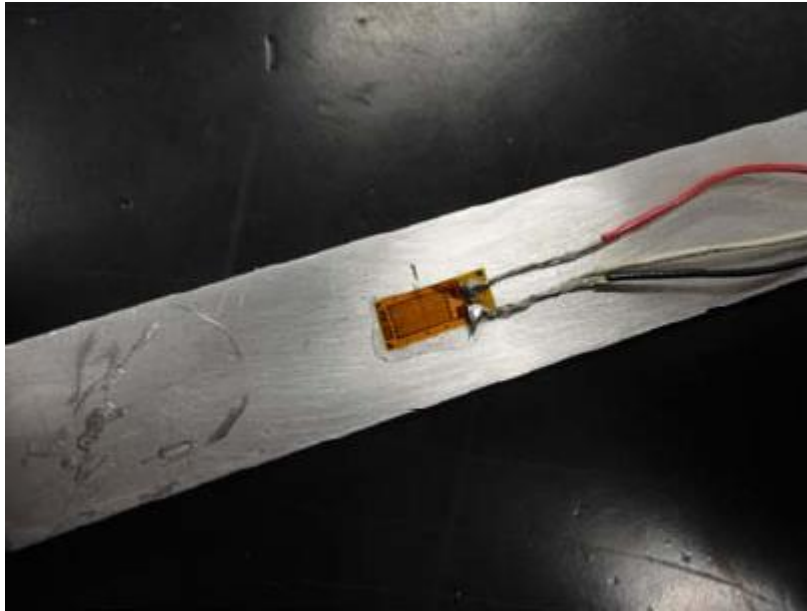
dar estaño a los cables



sujetar los cables a la pletina con cinta

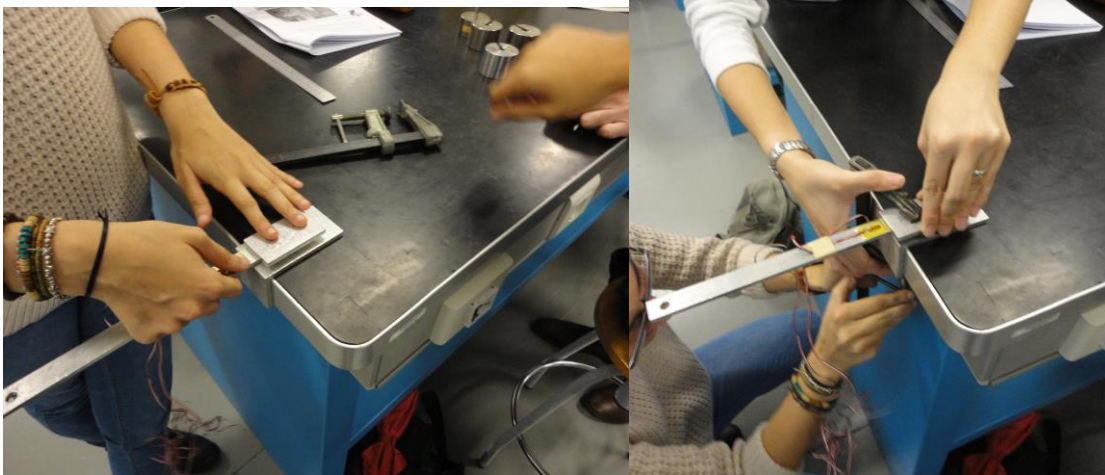


soldar los cables a la galga

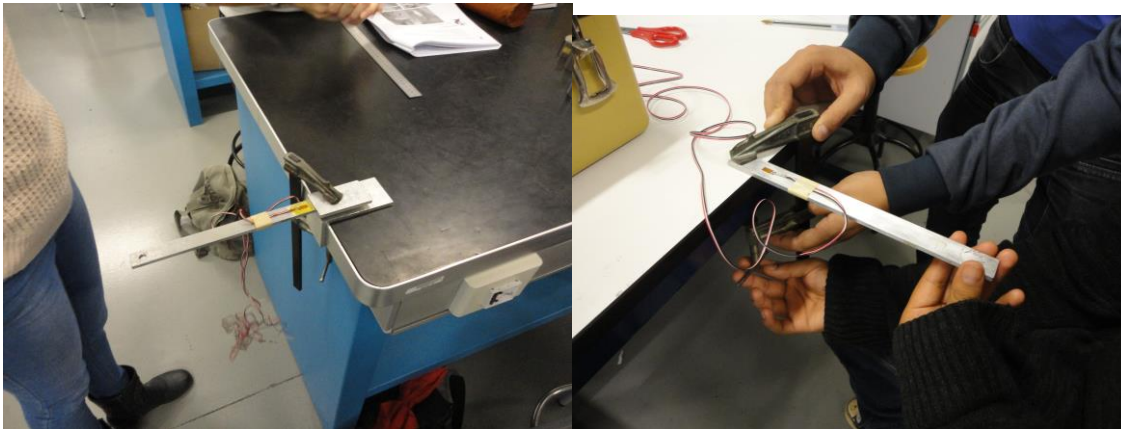


Resultado

Coprobación de los resultados



COLOCAR LA BARRA CON LA BANDA EXTENSIOMETRICA COLOCADA



SI

NO



SE CUELGA EL PESO



limpiar los restos de soldadura con disolvente.



doblar de los cables y sujeción a la pletina

### DADES EXPERIMENTALS

- Col.loqueu la càrrega P d'acord amb la figura sobre l'aparell de flexió.
- Obteniu la deformació unitària per lectura sobre el P-3500.

### DADES EXPERIMENTALS OBTINGUDES

La deformació unitària obtinguda sobre el P-3500 és:

$$.\epsilon = \underline{\hspace{2cm}} \times 10^{-6}$$

## DATOS DE CÁLCULOS ANALÍTICOS OBTENIDOS

- Hacer el cálculo analítico de la deformación unitaria en el punto y compararlo con el valor obtenido experimentalmente.
- Valorar el error obtenido.
  - Módulo de elasticidad del aluminio  $E = 0,7 \times 10^4 \text{ Kg/mm}^2 = 6,86 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
  - Grosor de la banda más la capa de pegamento  $t = 0,054 \text{ mm}$ .
  - Carga  $P$  (dos pesas)  $\text{kg} \rightarrow P_t$  medir y pasar a  $\text{N}$
  - Longitud de voladizo desde la carga a la banda medir  $L$  \_\_\_\_\_  $\text{mm}$ .

Se tiene una viga de sección rectangular constante, empotrada en un extremo y con una carga puntual en su extremo opuesto libre.

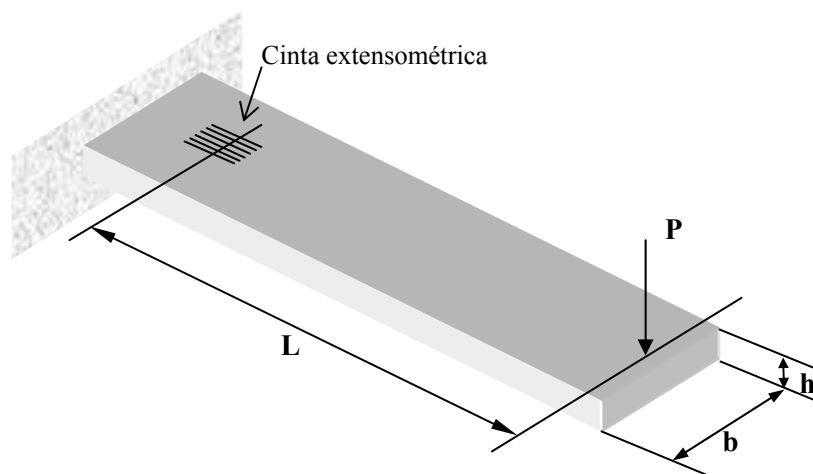


Figura . Esquema del modelo de viga en voladizo

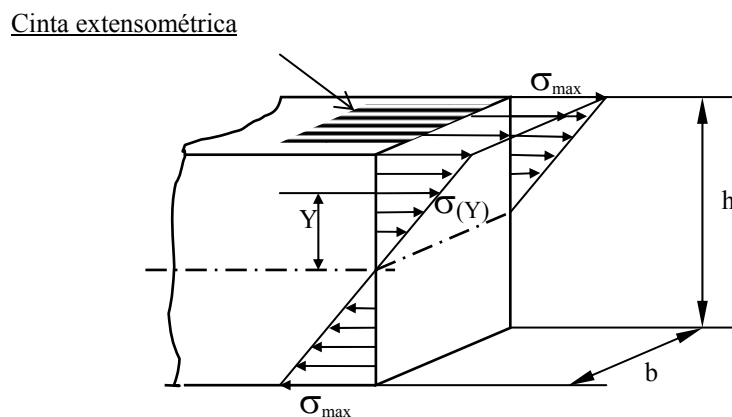


Figura . Modelo esquematizado de Navier para determinar la tensión máxima

“ $\sigma_{max}$ ”

La tensión " $\sigma(y)$ " (kgf/cm<sup>2</sup>) de la viga sometida a flexión, según el modelo de Navier para esta viga en voladizo, se define por:

$$\sigma(y) = \frac{M_{\max} \times Y}{I}$$

Donde: "M<sub>max</sub>" momento flector máximo (kgf-mm)  
 "y" distancia desde el eje neutro (mm)  
 "I" momento de inercia de la sección rectangular = bh<sup>3</sup>/12 (mm<sup>4</sup>)

Así, la tensión máxima " $\sigma_{\max}$ " para la viga en voladizo, en el punto donde está instalada la cinta, ocurre cuando y = h / 2, y equivale a:

$$\sigma_{\max} = \frac{PL \frac{h}{2}}{\frac{bh^3}{12}} = \frac{6PL}{bh^2}$$

Adicionalmente a este análisis, sobre la superficie donde está aplicada la cinta se puede aplicar el modelo de correlación elástico:

$$\sigma_{\max} = E \ \varepsilon$$

$$E_{\text{aluminio}} = E = 0,7 \times 10^4 \text{ Kg/mm}^2 = 6,86 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

CÀLCUL ANALÍTIC	$\varepsilon = \frac{\sigma_{\max}}{E}$	
CÀLCUL EXPERIMENTAL	$\varepsilon$	



# CUADERNO DE PRÁCTICAS

DI 1013

**MECÁNICA**  
y RESISTENCIA DE MATERIALES



Curso 2017-18

En este apartado se pretende explicar cómo lograr el amarre de las prótesis de mano con el presente banco de ensayos.

Para ello es necesario la presencia de un elemento intermedio entre la brida explicada en el apartado 2.4.1 Diseño inicial del capítulo 2. Memoria. Este acople tiene la forma mostrada en la FIGURA 1.

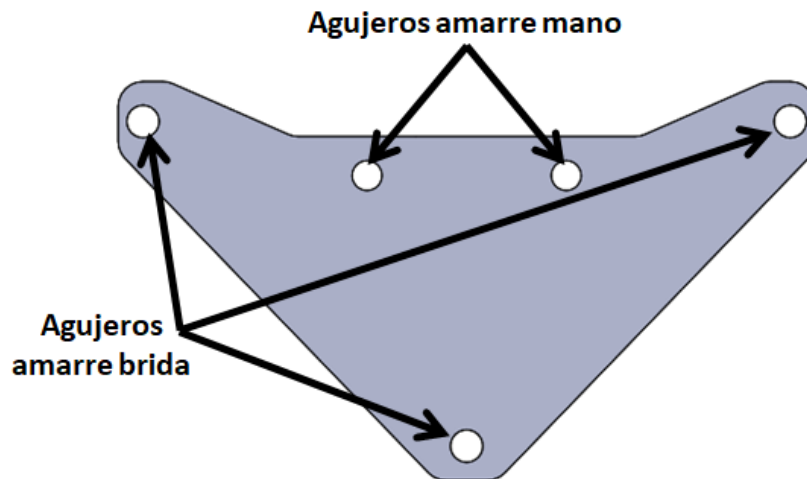


Figura 1. Acople que ejerce de nexo entre brida y prótesis

El acople se encarga de unir la brida y la prótesis de mano mediante un juego de agujeros pasantes por donde se introducen los tornillos con sus correspondientes tuercas en el otro extremo generando así un amarre fijo. La adaptación que deben incorporar las prótesis de mano son las de la FIGURA 2.

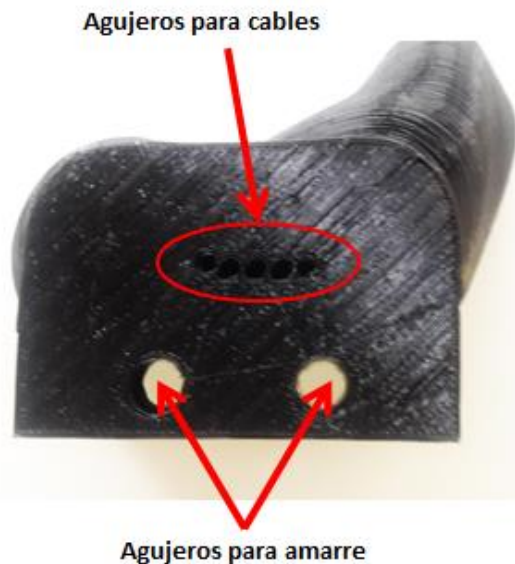
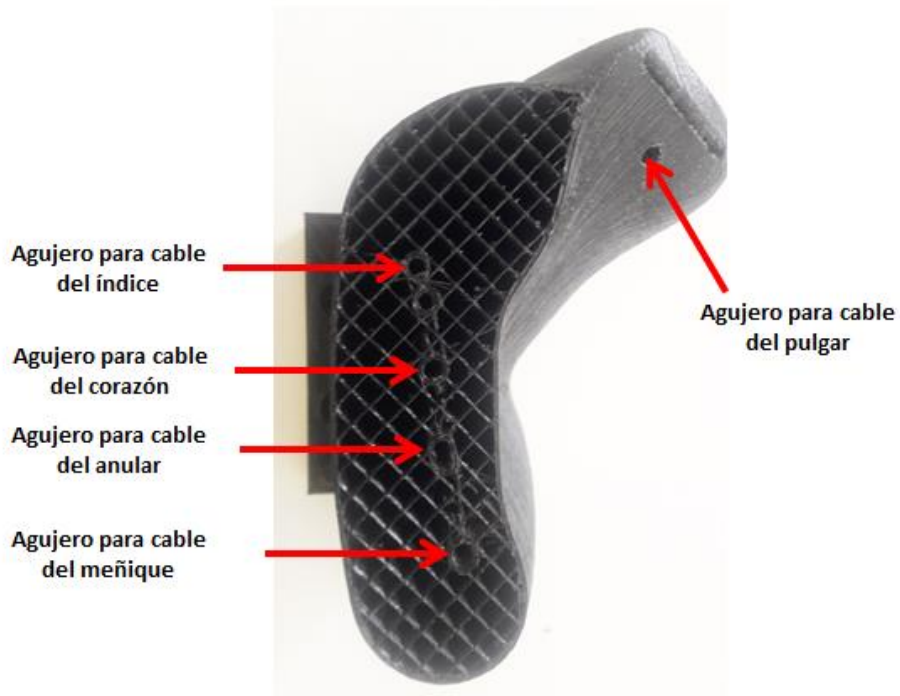


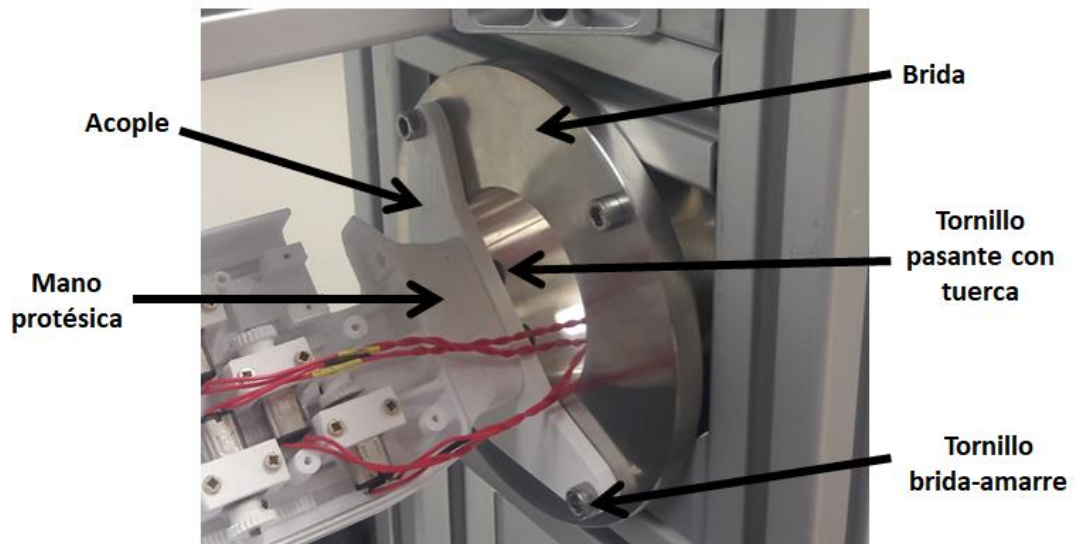
Figura 2. Adaptación para prótesis de mano

Los agujeros grandes se alinean con los agujeros centrales de la figura 1 haciendo pasar por los mismos un tornillo y enroscando una tuerca en el otro extremo. Los otros agujeros, sirven para hacer pasar los cables que permiten la flexión y extensión de los dedos a la hora de imitar el comportamiento de la mano. En la figura 3 se puede observar una vista de sección de una mano protésica donde se ve este diseño.



*Figura 3. Vista de sección de un diseño de mano protésica*

Finalmente el montaje quedaría como el mostrado en la figura 4.



*Figura 4. Ensamblado final*

