



Universidad  
de La Laguna

Escuela Superior de  
Ingeniería y Tecnología  
Sección de Ingeniería Industrial

# **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado de Ingeniería Mecánica

## **TRABAJO FIN DE GRADO.**

### **TÍTULO**

**SISTEMA FIABLE PARA RECOGIDA DE CABLEADO DE  
ELECTROCARDIOGRAFO**

### **AUTORA**

Ana María Galván Torres.

### **TUTORA**

Viana Lida Guadalupe Suárez.



## 0. Índice general

### Índice memoria descriptiva

1. Memoria descriptiva.....	1
1.1. Resumen.....	1
1.2. Abstract.....	1
1.3. Objetivos.....	1
1.4. Alcance .....	2
1.5. Antecedentes.....	3
1.5.1. Introducción.....	3
1.5.2. Anatomía y fisiología del corazón.....	4
1.5.3. Localización de las derivaciones del electrocardiograma .....	6
1.5.4. Electrocardiógrafo .....	7
1.5.5. Tipos de electrocardiógrafos comerciales .....	8
1.6. Diseños existentes para los sistemas de recogeables .....	12
1.6.1. Mecanismo de trinquete .....	13
1.6.2. Dispositivos comerciales analizados .....	17
1.7. Normativa .....	21
1.8. Requisitos del proyecto.....	22
1.8.1. Descripción y requisitos de los cables.....	22
1.8.2. Requisitos generales del mecanismo .....	23
1.8.3. Análisis de los mecanismos estudiados.....	24
1.9. Análisis de las soluciones .....	24
1.9.1. Prototipo 1 .....	24
1.9.2. Prototipo 2 .....	35
1.9.3. Prototipo 3 .....	40
1.9.4. Diseño final .....	44

1.10.	Programas utilizados .....	48
1.11.	Bibliografía .....	48
1.12.	Presupuesto de un prototipo .....	49
1.13.	Conclusiones .....	49
1.14.	Conclusions .....	50
1.15.	Índice de Figuras .....	51

## **Índice Anexos de cálculo**

2.	Anexos de cálculo .....	1
2.1.	Cálculos y estudios de la pieza 1 .....	1
2.1.1.	Objeto .....	1
2.1.2.	Cálculo de dimensiones .....	2
2.2.	Cálculos y estudios de pieza 2 .....	3
2.2.1.	Objeto .....	4
2.2.2.	Estudio de gráfico de fuerzas .....	4
2.2.3.	Estudio gráfico de momentos .....	5
2.2.4.	Estudio de tensiones y desplazamientos por elementos finitos con SolidWorks 7	
2.3.	Cálculos y estudios de la pieza 3 .....	14
2.3.1.	Objeto .....	15
2.3.2.	Ensayo de fuerzas .....	15
2.3.3.	Elección de resorte de tensión constante .....	15
2.4.	Cálculos y estudios de la pieza 4 y 5 .....	16
2.4.1.	Estudio de tensiones y desplazamientos por elementos finitos con SolidWorks 17	
2.5.	Cálculos y estudios de la pieza 6 .....	24
2.5.2.	Estudio de resorte de lámina .....	25

2.5.3. Estudio de tensiones y desplazamientos por elementos finitos con SolidWorks del resorte de lámina.....	25
2.5.4. Elección del resorte de torsión de catálogo .....	30
2.6. Cálculos y estudios de la pieza 7 .....	33
2.7. Cálculos y estudios de la pieza 7 .....	33
2.8. Listado de figuras.....	34
2.9. Listado de tablas .....	36

## Índice de planos

Plano 1.- Ensamblaje

Plano 2.- Plano explosionado del mecanismo

Plano 3.- Trinquete

Plano 4.- Gatillo

Plano 5.- Eje y carcasa externa

Plano 6.- Tapa interior

Plano 7.- Tapa de la carcasa

## Índice del Pliego de condiciones

4. Pliego de condiciones .....	1
4.1. Resumen.....	1
4.2. Condiciones generales .....	1
4.3. Condiciones de uso general .....	1
4.4. Condiciones técnicas.....	2
4.4.1. Acabados .....	2
4.4.2. Montaje.....	2

4.4.3. Mantenimiento ..... 3

## **Índice del presupuesto**

5. Presupuesto..... 1

5.1. Resumen ..... 1

5.2. Banco de precios..... 1

5.3. Mediciones..... 1

5.4. Presupuesto..... 2

# **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado de Ingeniería Mecánica

Memoria Descriptiva.

**TRABAJO FIN DE GRADO.**

**TÍTULO**

**SISTEMA FIABLE PARA RECOGIDA DE CABLEADO DE  
ELECTROCARDIÓGRAFO**

**AUTORA**

Ana María Galván Torres.

**TUTORA**

Viana Lida Guadalupe Suárez.





## Índice

1. Memoria descriptiva .....	1
1.1. Resumen.....	1
1.2. Abstract .....	1
1.3. Objetivos .....	1
1.4. Alcance .....	2
1.5. Antecedentes .....	3
1.5.1. Introducción.....	3
1.5.2. Anatomía y fisiología del corazón.....	4
1.5.3. Localización de las derivaciones del electrocardiograma .....	6
1.5.4. Electrocardiógrafo .....	7
1.5.5. Tipos de electrocardiógrafos comerciales .....	8
1.6. Diseños existentes para los sistemas de recogecables .....	12
1.6.1. Mecanismo de trinquete .....	13
1.6.2. Dispositivos comerciales analizados .....	17
1.7. Normativa .....	21
1.8. Requisitos del proyecto.....	22
1.8.1. Descripción y requisitos de los cables.....	22
1.8.2. Requisitos generales del mecanismo .....	23
1.8.3. Análisis de los mecanismos estudiados .....	24
1.9. Análisis de las soluciones .....	24
1.9.1. Prototipo 1 .....	24
1.9.2. Prototipo 2 .....	35
1.9.3. Prototipo 3 .....	40
1.9.4. Diseño final .....	44
1.10. Programas utilizados .....	48
1.11. Bibliografía .....	48

1.12.	Presupuesto de un prototipo.....	49
1.13.	Conclusiones .....	49
1.14.	Conclusions.....	50
1.15.	Índice de Figuras.....	51

# **1. Memoria descriptiva**

## **1.1. Resumen**

En este proyecto se realiza el diseño de un sistema fiable para la recogida de los cables de un electrocardiógrafo empleado en servicios sanitarios, como por ejemplo, los servicios de urgencias. El electrocardiograma consta de 10 cables de 2 mm de diámetro que van conectados a unos sensores que pueden ser de varios tipos. El sistema se compone de unos dispositivos recogecables individuales que almacenan cada cable para evitar enredos, y un soporte para el alojamiento y uso conjunto de los dispositivos. El montaje del sistema debe ser de fácil en los electrocardiogramas existentes. El recogecables será robusto y duradero, pero también permitirá un desbloqueo rápido en caso de fallo. El dispositivo individual se podrá fabricar por impresión 3D.

El objetivo del sistema es mejorar los sistemas actuales para realizar un electrocardiograma de forma más eficiente y sencilla.

## **1.2. Abstract**

In this project the design of a reliable system for collecting the electrocardiograph's cables employed in health services, such as emergency services, is performed. A commercial electrocardiogram presents 10 wires with a diameter of 2 mm, which are connected to different sensors. The system is built up by a single cord storage devices which store each cable to prevent tangles, and a bracket to enclose the cables and allow the use of the cables together. The design of the system must be easy to be implemented in existing electrocardiographs. The automatic cable retractor must be robust and durable, but also allow quick release in case of failure. Finally, the design must be designed to be manufactured by 3D printing.

## **1.3. Objetivos**

El electrocardiograma es una herramienta de diagnóstico en los servicios de salud con una especial relevancia en los servicios de urgencias.

La experiencia indica que una parte importante del tiempo de preparación para la realización de esta prueba, se consume en acomodar los cables de las diferentes

derivaciones, generalmente enredados de usos anteriores. En ciertos casos de urgencia, la reducción de este tiempo de acomodación es crucial para poder dar una respuesta eficaz en el diagnóstico de una patología.

Por lo tanto, en este proyecto se propone el diseño de un recogecables fiable, con capacidad de recoger hasta 10 cables conectados al electrocardiógrafo.

Este sistema debe permitir la extracción segura de los cables del mismo, uno por uno, y su recogida automática. El diseño debe asegurar la fiabilidad y la posibilidad de contar con la disponibilidad del cable, incluso ante la eventualidad de fallo del sistema.

El sistema se podrá emplear en los electrocardiógrafos existentes con un fácil montaje.

El diseño de las piezas permitirá su fabricación por impresión 3D, lo que se traduce en la posibilidad de contar con un prototipo al mismo coste que una unidad fabricada en grandes lotes.

#### **1.4. Alcance**

El alcance de este proyecto es el diseño del sistema de recogecables individuales para un electrocardiógrafo, con el fin de mejorar el procedimiento de recogida y extracción rápida de los cables para evitar enredos y facilitar el proceso de acomodación de los cables en los pacientes que acuden a los servicios de urgencias.

El sistema finalmente elegido ha de ser fiable y duradero debido a su uso continuado. El diseño del mecanismo recogecables se inicia particularizando para los modelos más extendidos, pero ha de ser adaptable a los cables y electrocardiógrafos existentes en el mercado.

La necesidad de realizar el electrocardiograma ante cualquier eventualidad, nos impone la existencia de un procedimiento de liberación del cable, que sea sencillo, en caso de fallo del mecanismo.

La novedad de este sistema radica en poder realizar las operaciones de acomodación de una manera fiable y rápida, que permita la preparación de los electrocardiogramas reduciendo el tiempo frente a los sistemas convencionales.

Se realizará un estudio de las piezas por elementos finitos mediante el software SolidWorks y se llevarán diversos estudios estáticos de carga con un coeficiente de seguridad  $n=4$ , para determinar el correcto funcionamiento de las piezas.

Al tratarse del diseño de un prototipo, no se contempla el estudio de seguridad y salud.

Dentro del diseño, queda fuera del objeto de este proyecto el diseño del eje donde irán ubicados los sistemas para la recogida de cableado.

El mecanismo recogecables se diseñará para permitir la fabricación por impresión 3D. La técnica de fabricación en 3D nos permite obtener un prototipo con el que hacer pruebas sin realizar una gran inversión. La fabricación de pequeños lotes también sería posible con esta técnica de fabricación porque nos ahorraríamos la fabricación de moldes, necesarios en otras técnicas. El material empleado para la fabricación será un plástico de alta resistencia.

## **1.5. Antecedentes**

### **1.5.1. Introducción**

El electrocardiograma es una herramienta rápida, eficaz y no invasiva para el diagnóstico de patologías urgentes en el medio sanitario. En los servicios de urgencia extrahospitalarios cobra una especial relevancia por ser uno de los pocos recursos diagnósticos con los que se cuenta, aparte de la anamnesis y la exploración. La necesidad de atender a los pacientes en servicios normalmente masificados, y sobre todo la dependencia del tiempo para la supervivencia en determinadas patologías, justifica optimizar la velocidad de realización de un electrocardiograma.

El Consejo Español de RCP (reanimación cardiopulmonar), que se encarga de la coordinación del Plan Nacional de RCP, publica varios artículos sobre la supervivencia en función del tiempo transcurrido desde el comienzo de una determinada patología, que deriva en una parada cardiorespiratoria, y su tratamiento. Por ejemplo, un caso relevante es el de la fibrilación ventricular (FV), que es un tipo de arritmia maligna. La desfibrilación eléctrica es la medida terapéutica aislada más importante en el tratamiento de la FV. Diversos estudios han demostrado que por cada minuto de retraso en aplicar la desfibrilación se produce una disminución de la supervivencia entre un 7 y un 10%. La estadística nos muestra que si se desfibrila a un individuo a los 1 ó 2 minutos desde el

inicio de la FV la supervivencia es del 80 %, y disminuye hasta el 25% si la desfibrilación se realiza después de 5 minutos, al 10 % tras 10 minutos y al 5 % tras 15 minutos del inicio de la FV.

El tiempo hasta la desfibrilación, es el tiempo con el que cuenta el personal sanitario para trasladar al paciente a una sala preparada con el material necesario, y para la realizar un electrocardiograma, de como mínimo de tres derivaciones, con el fin de detectar el tipo de arritmia que sufre el paciente y poder empezar a administrar el tratamiento adecuado.

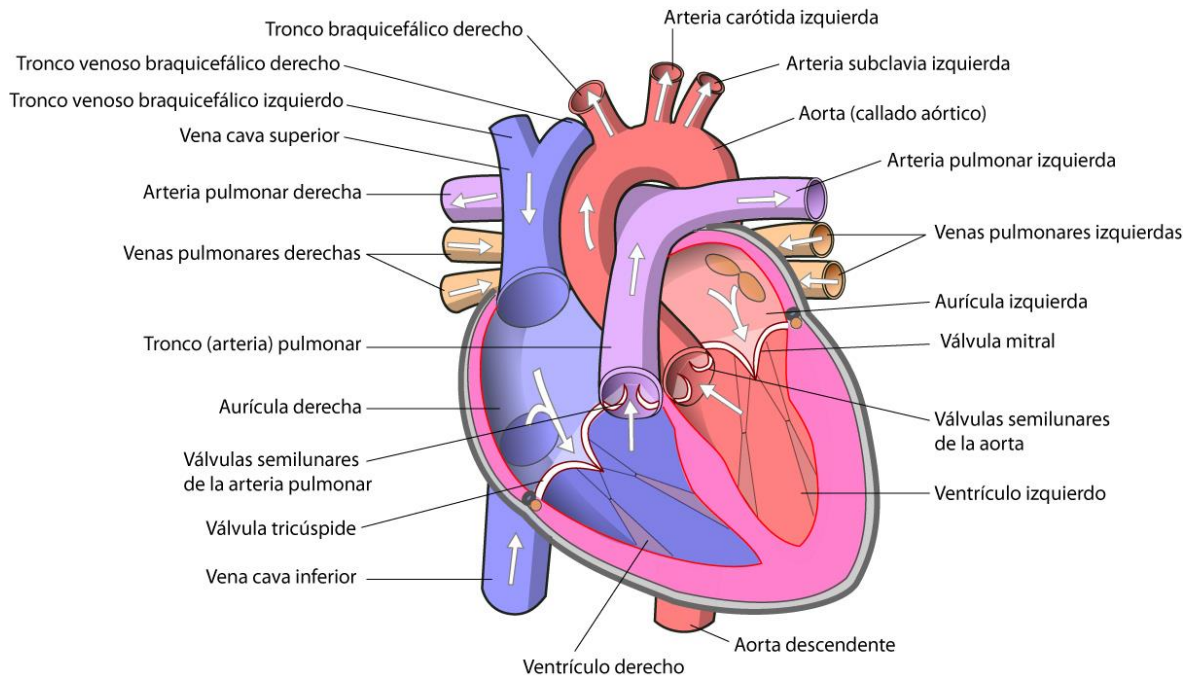
La rapidez en la realización de un electrocardiograma deja de ser por tanto un mero capricho, o medida de eficiencia de un servicio, para llegar a representar la diferencia entre la supervivencia o no de un paciente.

El electrocardiograma registra la actividad eléctrica del corazón, que es la responsable de sus movimientos. Por lo tanto, para entender esta actividad eléctrica necesitamos introducir la anatomía del corazón para conocer la tipología y número de cables que van a ser utilizados en el sistema que se diseña en el presente proyecto.

### **1.5.2. Anatomía y fisiología del corazón**

El corazón humano se encuentra dividido en cuatro cavidades cardíacas, dos superiores denominadas aurículas y dos inferiores, llamadas ventrículos. Los movimientos fundamentales del corazón son dos, el de sístole o contracción y el de diástole o relajación. Estos movimientos se realizan por etapas.

La primera etapa llamada Sístole Auricular ocurre cuando se contraen las aurículas y la sangre pasa a los ventrículos previamente vacíos. En la segunda de las etapas, denominada Sístole Ventricular, los ventrículos se contraen y la sangre sale por la arteria pulmonar desde el ventrículo derecho a los pulmones, y por la arteria aorta desde el ventrículo izquierdo a todo el cuerpo, como puede verse en la Figura 1.1. Finalmente, en el tercer movimiento, denominado Diástole general, tanto aurículas y los ventrículos se expanden, debido a la relajación muscular, y la sangre penetra nuevamente en las aurículas, desde los pulmones en la aurícula izquierda, y desde el resto del cuerpo en la derecha. Los golpes que se producen en la contracción de los ventrículos originan los latidos.



**Figura 1.1:** Imagen descriptiva del corazón [1].

El nódulo sinusal es la estructura del sistema de conducción con pendiente de despolarización diastólica más rápida; sus células son las que antes alcanzan el potencial umbral y por ello, es en el nódulo sinusal donde se genera el potencial de acción que se distribuirá por todas las demás células. Es el marcapasos cardíaco normal [2].

La despolarización o activación y la repolarización o recuperación de los miocitos pueden representarse como un vector con diferentes cargas en la punta del vector y en su origen.

La despolarización de las células cardíacas, que transforma en eléctricamente positivo su interior, puede representarse como un vector con la punta positiva y su origen negativo.

Todo electrodo o derivación situado en un ángulo de  $90^\circ$  respecto a la punta vectorial, registrará una deflexión positiva, tanto más cuanto más coincida con la dirección del vector.

Por el contrario, las derivaciones situadas a más de  $90^\circ$  de su punta registrarán una deflexión negativa. Este fenómeno es el responsable de la génesis del complejo de onda QRS que se recoge en un electrocardiograma, como puede verse en la Figura 1.2. Las células una vez activadas, se recuperan hasta alcanzar las condiciones eléctricas de reposo; a este fenómeno se le denomina repolarización y puede representarse por un vector con polaridad opuesta al vector de despolarización. Este vector es el responsable de la génesis de la onda T del electrocardiograma [3].

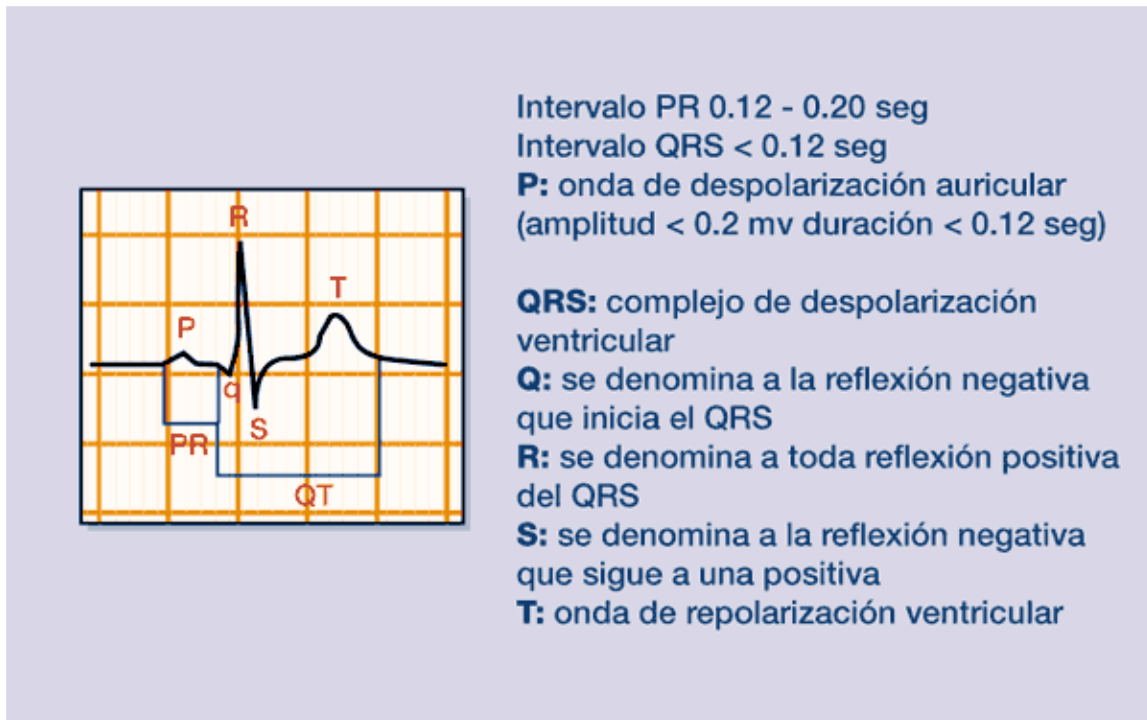


Figura 1.2: Complejo QRS y T [2].

### 1.5.3. Localización de las derivaciones del electrocardiograma

Podemos definir las derivaciones del electrocardiograma como puntos de observación de los diferentes fenómenos eléctricos que ocurren en el corazón. Cada una de ellas registrará la despolarización y repolarización cardíacas.

Las derivaciones del plano horizontal o derivaciones precordiales monopoles registran los vectores con direcciones izquierda-derecha y anterior-posterior, en definitiva la actividad eléctrica cardíaca en esas direcciones (Figura 1.3).

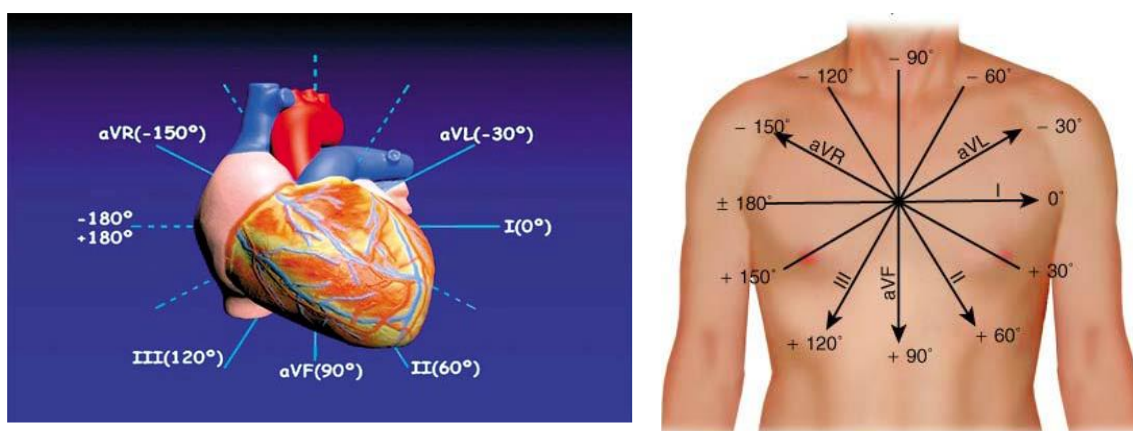
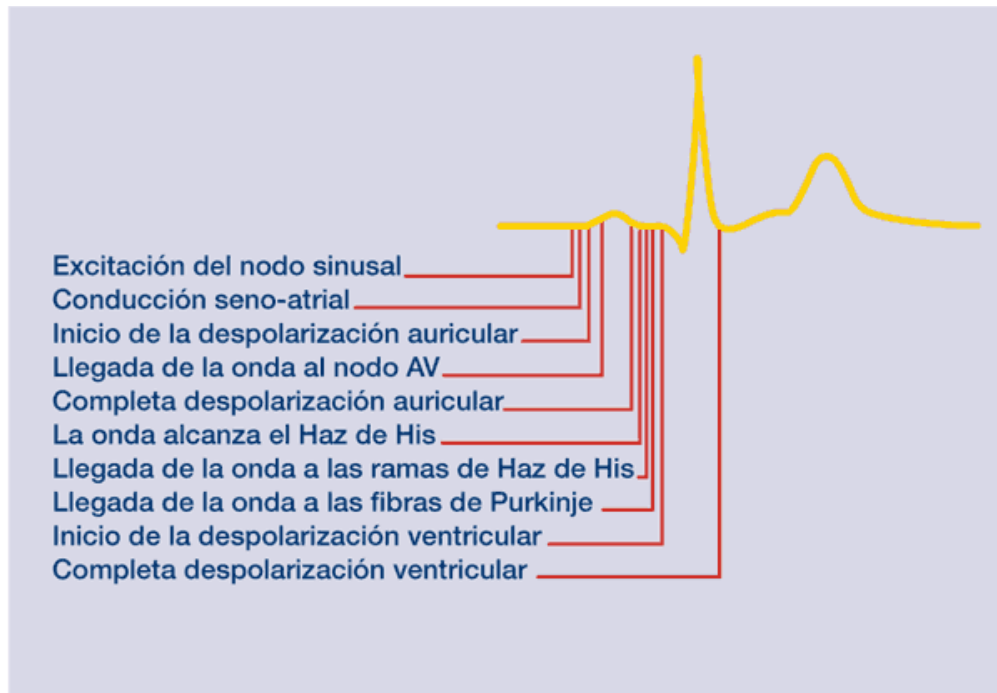


Figura 1.3: Derivaciones en el plano frontal [2].

Finalmente se obtiene una onda como se ve en la Figura 1.4.





**Figura 1.4:** Secuencia de despolarización de miocardio [2].

Para poder realizar un electrocardiograma necesitamos realizar 12 derivaciones (Figura 1.3), a través del uso de 10 cables con los sensores, 6 cables precordiales y 4 cables para las extremidades. Los cables tienen una longitud entre 1,5 metros y 2 metros, dependiendo de los modelos de electrocardiógrafos, con un diámetro exterior del cable de 2 mm.

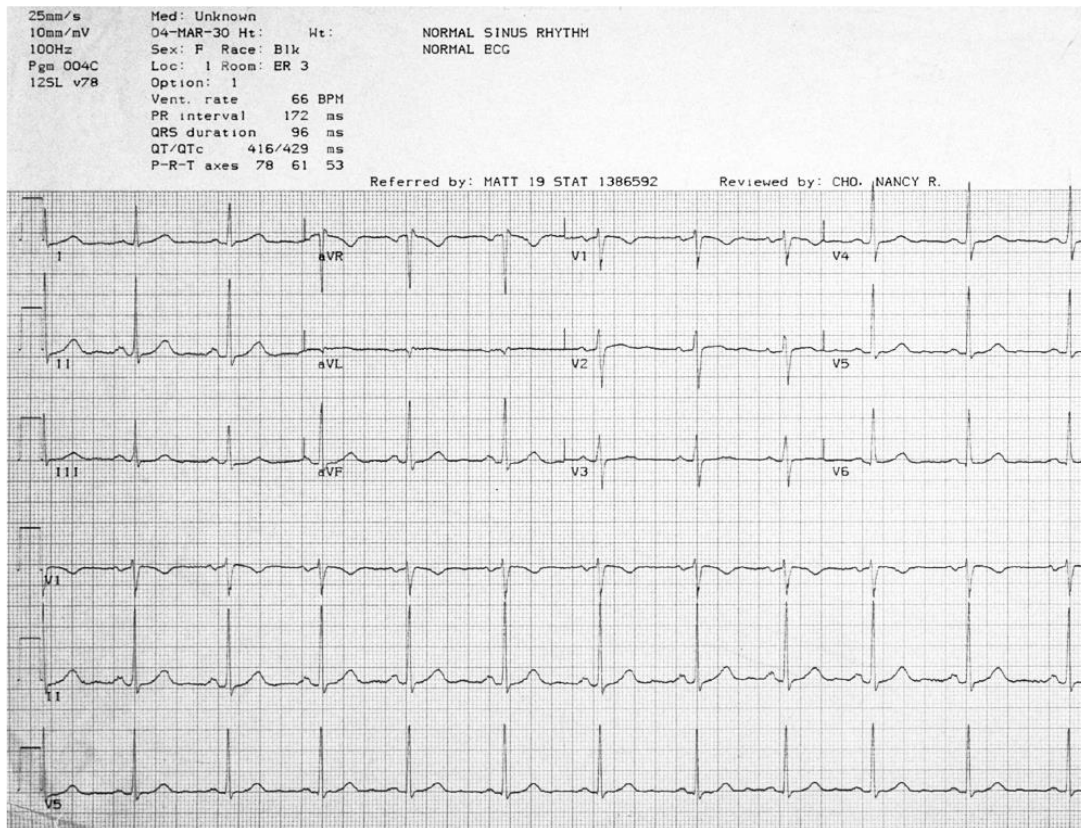
#### 1.5.4. Electrocardiógrafo

Como se ha mencionado anteriormente, un electrocardiógrafo es un dispositivo que permite registrar la actividad eléctrica cardíaca a partir de los electrodos conectados en la superficie de cuerpo de un paciente siguiendo el esquema que se vio en la sección anterior. Esta señal se amplifica y se envía a un oscilógrafo que va dibujando las variaciones sobre un papel milimetrado.

Las diferencias de potencial se recogen con movimientos de la aguja hacia arriba o debajo de acuerdo a la polaridad registrada y la magnitud del potencial, mientras que en el papel se obtiene un trazo con ondas positivas y negativas que reflejan la actividad cardíaca observada desde los diferentes electrodos.

La velocidad del papel es de 25 mm/s con lo que cada milímetro en el eje de abscisas supone 0,04 s de tiempo y cada 5mm son 0,2 s. Cada milivoltio (mV) registrado se traduce

en un desplazamiento de la aguja de 10 mm en el eje de ordenadas, como se ve en la Figura 1.5.



**Figura 1.5:** Electrocardiograma típico.

### 1.5.5. Tipos de electrocardiógrafos comerciales

Comercialmente los electrocardiógrafos no presentan en sí muchas diferencias. Las mayores diferencias que se pueden registrar son normalmente debidas al sistema de cables, conectores, sistemas para la colocación de los sensores y otros avances relacionados con el sistema de colocación de los cables.

Como se puede ver en la Figura 1.6, el electrocardiógrafo incluye un sistema de sensores tipo pinza para las extremidades corporales, que se aprecian en el lado izquierdo de la imagen, y sensores tipo ventosa, que realizan succión, para ubicarlos en el tronco del paciente.



**Figura 1.6:** Electrocardiógrafo típico con sensores tipo pinza y tipo ventosa.

En los últimos años, muchas de las innovaciones recogidas a nivel comercial han estado relacionadas con la durabilidad y fiabilidad de estos sensores, siendo actualmente muy precisos y sencillos de ubicar, puesto que se han sustituido por sensores desechables adhesivos.

Sin embargo, el sistema de cableado hasta los sensores, que puede variar de un fabricante a otro en longitud de los cables, calidad de los terminales y patrón de colores, tiene una alta probabilidad de enrollarse tras ser utilizado, como se puede apreciar en la Figura 1.7.



**Figura 1.7:** Cableado tras el uso del electrocardiógrafo.

Para evitar los enredos de los cables, una de las soluciones que se aplica es el uso de trabillas para los cables como sistema de retención. La ventaja de este tipo de sistema es su sencillez de uso y su bajo coste. Sin embargo es un sistema poco fiable porque estas pinzas se destraban con mucha facilidad y hay que recoger los cables del suelo, lo que conlleva un tiempo extra y una posibilidad de deterioro de los terminales si en caso de accidente se pisa o se traba con la rueda de alguna camilla.



**Figura 1.8:** Sistema de sujeción de trabillas.

En la práctica, una de las soluciones más comunes de las que el personal sanitario hace uso, es colgar los cables tratando de que queden lo más ordenados posible en uno de los brazos del sistema de transporte, como se aprecia en la Figura 1.9. A pesar de la robustez de la solución, no es aplicable de manera generalizada, porque mucho de los carros no posee ese brazo donde colocar los cables y muchas veces su retirada para la colocación en un paciente durante una urgencia médica puede ser complejo, perdiéndose un valioso tiempo. Muchas veces este sistema impide alcanzar a todos los puntos necesarios del paciente que requieren la colocación de un electrodo.



**Figura 1.9:** Cableado del electrocardiógrafo colgando del carro de transporte: en la izquierda una visión general y a la derecha un detalle del sistema.

Una de las alternativas que se ha introducido en el mercado recientemente es un armazón que se cierra entorno al paciente y se conectan los cables directamente, como se ve en la Figura 1.10. Este sistema presenta la ventaja de que los cables están siempre conectados al sistema por lo que no se enrollarán entre ellos y permite un despliegue rápido en caso de urgencia.

Este sistema presenta dos grandes desventajas de cara a ser aplicado en los servicios de urgencias. El primero es la medida del arnés y la necesidad de acomodación en función de la medida del paciente, aparte de la ubicación de los sensores en el sistema cerrado, que pueden no ajustarse a la fisionomía de un paciente en particular. La segunda desventaja es la necesidad de colaboración activa del sujeto, lo que en ciertos tipos de casos registrados en los servicios de urgencias no es posible.

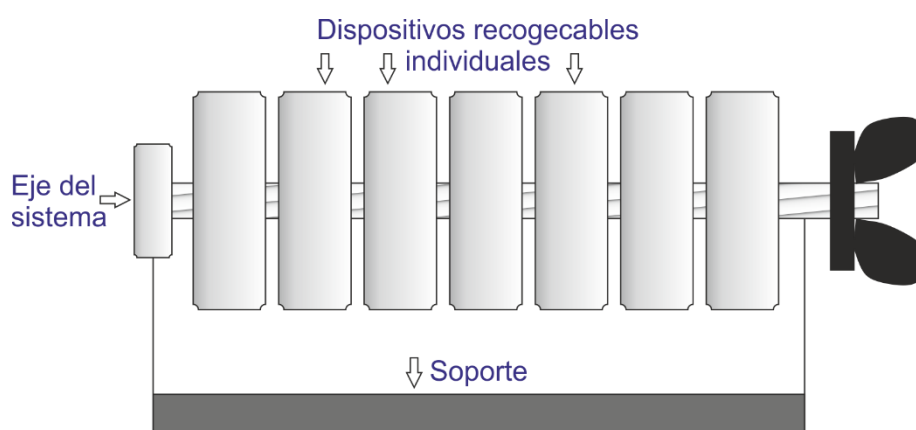


**Figura 1.10:** Sistema de armazón para los sensores del electrocardiógrafo. A la izquierda detalle del sistema y a la derecha sobre el paciente.

Por lo tanto, en este proyecto se analiza un sistema fiable para realizar una recogida del cable mediante el diseño de un mecanismo que se coloque en el electrocardiógrafo, que permita la extracción de cada uno de los cables por separado para llevarlo a los sensores, de tal manera que el sistema quede perfectamente preparado para su siguiente uso, algo que no presenta actualmente ningún modelo comercial.

### 1.6. Diseños existentes para los sistemas de recogecables

En nuestro caso se ha partido de la idea de una serie de dispositivos individuales de recogecables, para cada cable, como se muestra en la Figura 1.11. Unidos por un eje central y un soporte. Nos centramos en el diseño del mecanismo recogecables.



**Figura 1.11:** Dispositivos individuales para la recogida de los cables

El mecanismo recogecables tiene que cumplir una serie de requisitos:

- Recogida automática del cable al apretar un botón o palanca.

- Bloqueo automático en cualquier posición durante la extensión del cable.
- Alta fiabilidad.
- Alta duración.

Esto nos hace pensar en aparatos eléctricos que disponen de recogecables que cumplen estos requisitos, encontrando con frecuencia un mecanismo de trinquete como mecanismo principal, por lo que se hace un acercamiento a este tipo de dispositivos y sus características y tipos.

### 1.6.1. Mecanismo de trinquete

La función del mecanismo de trinquete es permitir el giro en una dirección y bloquearlo en el contrario.

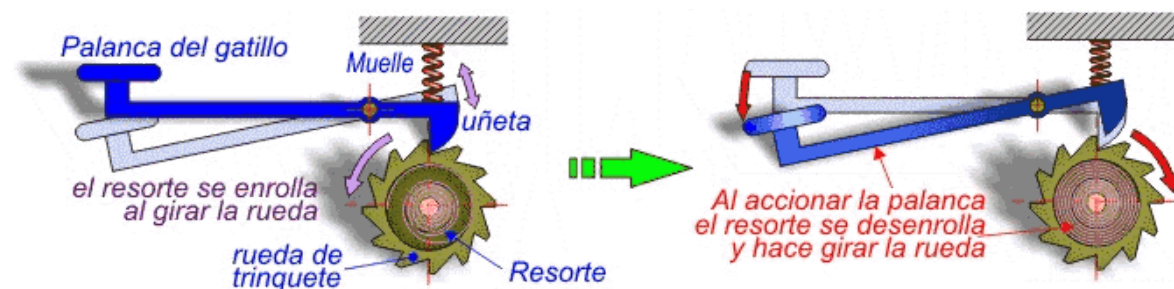
Un mecanismo de trinquete se basa en un engranaje con un resorte que es el responsable del giro. Cuando el engranaje se mueve en una dirección, el gatillo de parada se desplaza hacia arriba por los dientes del engranaje, cuando se intenta el giro en el otro sentido el gatillo baja encajando en la muesca antes del siguiente diente.



**Figura 1.12:** Mecanismo de trinquete [4].

El gatillo de parada se frena entonces contra el hueco entre el diente del engranaje, evitando el movimiento de retroceso. Algunos mecanismos incluyen un sistema para que el dispositivo pueda girar en un sentido u otro y algunos otros incorporan un mecanismo de liberación o gatillo que permite el movimiento del sistema.

De manera general, podemos analizar el dispositivo que se ve en la Figura 1.13 para analizar el funcionamiento de un mecanismo de trinquete. Como se aprecia a la izquierda, un resorte que se encuentra dentro de la rueda de trinquete se enrolla al girar la rueda. Debido al diseño de la rueda del trinquete, el movimiento en este caso sólo puede ser en un sentido, dado que la uñeta bloquea el movimiento en el sentido contrario. La uñeta ejerce una presión constante sobre la rueda de trinquete gracias a un muelle que se encuentra en su posición de reposo. Cuando se acciona la palanca del gatillo, el muelle se comprime y se libera la uñeta, por lo que el resorte se desenrolla, haciendo girar la rueda del trinquete.



**Figura 1.13:** Funcionamiento del mecanismo de trinquete [5].

Los mecanismos de trinquete se pueden clasificar en cuatro principalmente:

1. De retención, cuando solamente se limita a permitir o no el movimiento del eje o árbol en un sentido.
2. De accionamiento, cuando otro mecanismo (generalmente una biela o un émbolo) dotado de un movimiento de vaivén empuja a la rueda dentada en el sentido de giro permitido, mientras la uñeta lo impide en el contrario.
3. Irreversible, cuando permite o retiene el movimiento siempre en el mismo sentido de giro.
4. Reversible, cuando puede permitir o retener el movimiento en ambos sentidos, gracias a un sistema de uñetas reversibles (y a un diseño de los dientes adecuado).

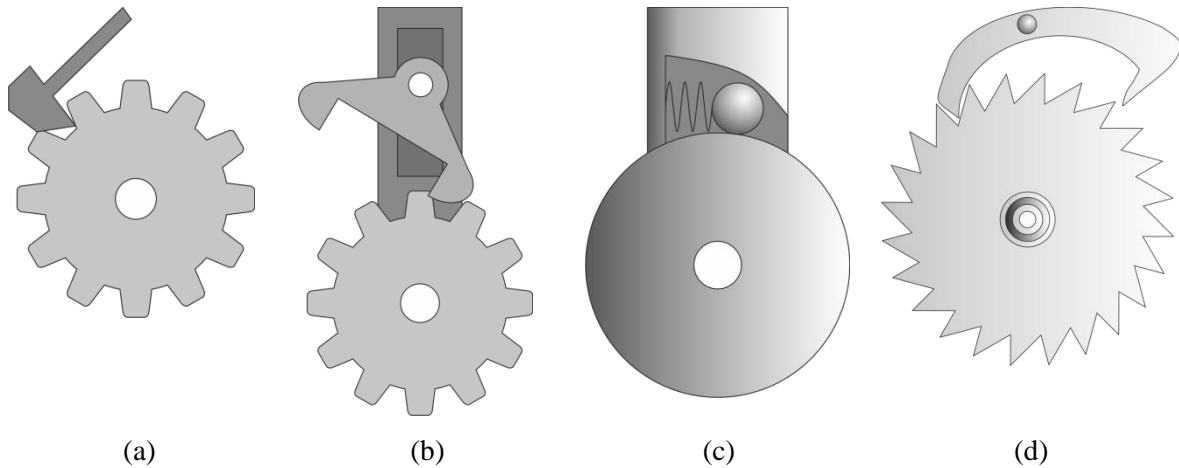
Los mecanismos de trinquete también se pueden clasificar en función de la posición del mecanismo de retención, pudiendo ser exteriores, interiores o frontales.



### 1.6.1.1. Sistemas exteriores.

Los sistemas de trinquetes exteriores poseen como su nombre indica, los sistemas de retención en la parte externa de la rueda del engranaje, un ejemplo claro es el de la Figura 1.13.

En la siguiente figura podemos ver diferentes tipos de sistemas exteriores.



**Figura 1.14:** Sistemas exteriores de trinquete: (a) Mecanismo de trinquete exterior irreversible, (b) Mecanismo de trinquete exterior reversible, (c) Mecanismo de trinquete exterior irreversible con freno de fricción, (d) Mecanismo de trinquete exterior irreversible con bloqueo (Fuente propia).

#### *a) Trinquete exterior irreversible*

En el primero de los sistemas a analizar, como se puede apreciar en la Figura 1.14 (a), la uñeta bloquea el movimiento de la rueda del trinquete. Una vez sea activado el gatillo y la uñeta liberada, la rueda del trinquete podrá moverse. Estos sistemas se suelen utilizar con un resorte en su interior, de tal manera que cuando se acciona el gatillo, pueden girar en una dirección. Normalmente este sistema se emplea en los mecanismos de trinquete irreversibles.

#### *b) Trinquete exterior reversible (con doble cuña)*

En la Figura 1.14 (b) se aprecia un sistema de trinquete exterior reversible, donde el sistema posee una doble uñeta para que, en función de cómo se coloque, permita el giro en uno u otro sentido. Este sistema, a diferencia del anterior, no suele presentar un resorte para recoger el trinquete una vez se libere la uñeta, puesto que puede girar en ambos sentidos, aunque en algunos diseños puede tener un selector de resorte para favorecer el giro levógiro o dextrógiro.

El funcionamiento de este mecanismo consiste en un dispositivo selector que utiliza la uñeta derecha o la uñeta izquierda para bloquear el movimiento en uno u otro sentido, por lo que la rueda del trinquete suele ser una rueda dentada como se aprecia en la Figura 1.14 (b).

Estos sistemas son los que emplean las llaves de carraca para los movimientos de enrosque y desenrosque de tornillos.

*c) Trinquete exterior reversible (con sistema de freno de fricción)*

En la Figura 1.14 (c), se muestra un sistema de trinquete exterior reversible con sistema de freno. Cuando la rueda del trinquete gira en el sentido permitido, la masa que está en contacto con la rueda y unida a un resorte, se recoge. Cuando el sistema gira en sentido contrario, la masa se desplaza una longitud determinada y se queda bloqueada entre la rueda y la parte superior del mecanismo, evitando que se pueda mover más en ese sentido.

La ventaja de este mecanismo es que permite realizar un movimiento en contra del sentido de giro muy corto, pudiendo hacer de sistema de bloqueo sin la necesidad de una uñeta.

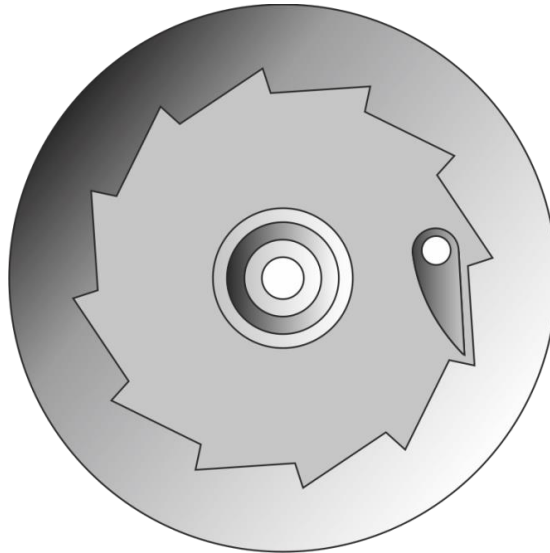
*d) Trinquete cuenta pasos*

En la Figura 1.14 (d), se muestra un mecanismo de trinquete denominado cuenta pasos, ampliamente utilizado en relojería. En este dispositivo, cuando el mecanismo superior pivota, fuerza el giro de la rueda de trinquete en el sentido elegido y tan solo uno de los pasos permitidos.

### **1.6.1.2. Sistemas interiores.**

En los sistemas interiores, la uñeta se encuentra dentro de la misma rueda de trinquete, como se aprecia en la Figura 1.15. Los sistemas interiores sólo permiten el giro en uno de los sentidos, por lo que se trata de un sistema irreversible.

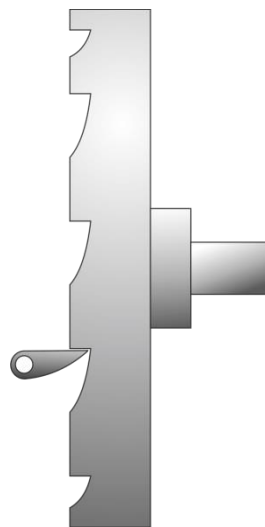
Cuando se activa el gatillo, la uñeta gira y libera el mecanismo. Usualmente estos sistemas incorporan un resorte que, una vez liberada la uñeta, produce el giro de la rueda de trinquete.



**Figura 1.15:** Mecanismo de trinquete interior irreversible (Fuente propia).

### 1.6.1.3. Sistemas frontales

Un sistema frontal se caracteriza porque la uñeta que bloquea el movimiento se encuentra perpendicular a la rueda de trinquete. En la Figura 1.16 se muestra un sistema de trinquete irreversible frontal.



**Figura 1.16:** Mecanismo de trinquete frontal irreversible (Fuente propia).

### 1.6.2. Dispositivos comerciales analizados

Los sistemas de recogeables se encuentran en muchos dispositivos de uso cotidiano. En este proyecto se desmontaron y analizaron varios dispositivos para conocer su funcionamiento y estudiar qué tipo de sistema podría ser el mejor para aplicarlo al sistema del electrocardiógrafo.

A priori, y tras analizar los diferentes tipos de trinquetes parece que la opción viable es emplear un trinquete exterior irreversible con un mecanismo de liberación del gatillo.

Esto se debe a que los trinquetes interiores son irreversibles, sólo girarían en un sentido y no permitiría enrollar el cable tras haberlo desenrollado, ni acoplar un mecanismo de liberación del gatillo. Los trinquetes frontales consumen demasiado espacio, por lo que no podríamos reducir el tamaño del mecanismo. El trinquete tiene que ser irreversible para garantizar que se quede fijo en una posición en el momento de realizar el electrocardiograma, y no produzca interferencias. Los trinquetes con gatillo son más fiables que los de fricción y necesitamos un mecanismo de liberación del gatillo para que una vez realizado el electrocardiograma, podamos liberarlo y se recoja el cable automáticamente.

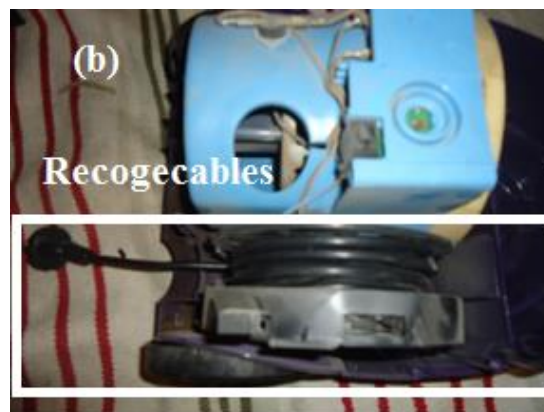
#### 1.6.2.1. Sistema recogedor de cables para la aspiradora

El primero de los dispositivos que fue analizado fue una aspiradora que incluía un recogecables accionado mediante un botón.

Como se puede apreciar en la Figura 1.17, la aspiradora presenta un sistema de conexión de delgas y escobillas para hacer contacto entre el conector y el cable que se desenrolla.

El sistema de anclaje está basado en un sistema de trinquete irreversible y el botón exterior activa una solapa que es la palanca del gatillo que libera el resorte de tensión a través del desacoplamiento de la uñeta.

Desde el punto de vista eléctrico, este tipo de conectores pueden introducir interferencias en la señal recibida en el electrocardiógrafo y al cabo de cierto uso habría que sustituir el sistema de interconexión entre el cable y el conector.





**Figura 1.17:** Aspiradora con mecanismo de trinquete; (a) Aspiradora comercial, (b) Ubicación del sistema de recogecables, (c) Dispositivo de recogida de cables con detalle del gatillo, (d) Conexión eléctrica.

### 1.6.2.2. Sistema recogedor de cables para el ratón de ordenador

El sistema de recogedor del cable de los ratones de ordenadores comerciales es un mecanismo de trinquete irreversible con dos porciones de cable enfrentados que se enrollan y desenrollan al mismo tiempo. Cuando la palanca se acciona, el resorte actúa y recoge el cable. Este sistema es muy interesante para aplicar a los electrocardiógrafos pero presenta la desventaja que el sistema de recogecables añade un peso extra a la mitad del cable, lo que puede causar que los electrodos se desconecten.

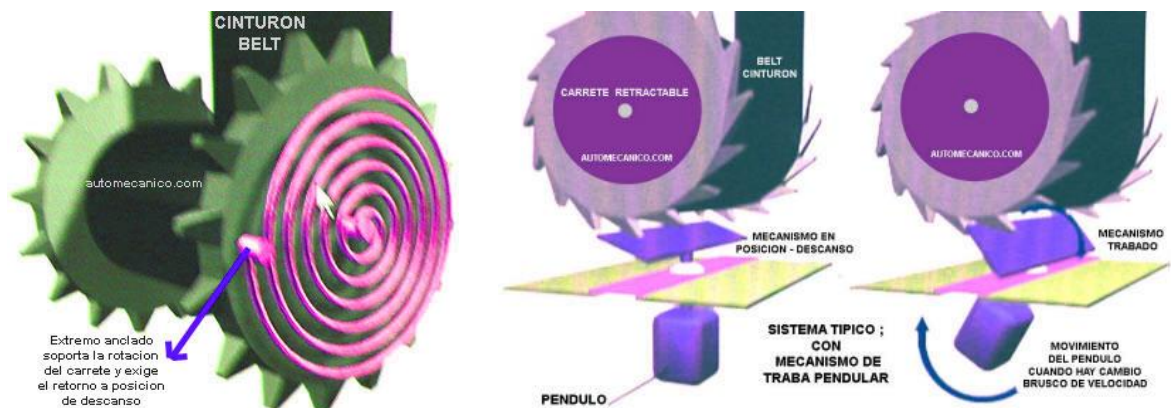


**Figura 1.18:** Ratón de ordenador.

### 1.6.2.3. Sistema recogedor de cables para cinturón de seguridad

Se trata de un sistema de trinquete exterior irreversible. Este sistema se caracteriza por tener un elemento que actúa como freno, bloqueando el movimiento del cinturón, cable o cuerda.

En la Figura 1.19 se muestra el sistema empleado para los cinturones de seguridad.



**Figura 1.19:** Sistema de trinquete de un cinturón de seguridad [5].

Cuando se tira del cinturón, se desenrolla haciendo girar el carrete en contra del resorte de recuperación. Cuando se suelta, el cinturón se enrolla volviendo a su posición original.

El mecanismo de control es una barra en forma de péndulo que cuando hay un frenazo la inercia o efecto residual del movimiento hace que el péndulo se mueva, trabando el cinturón.

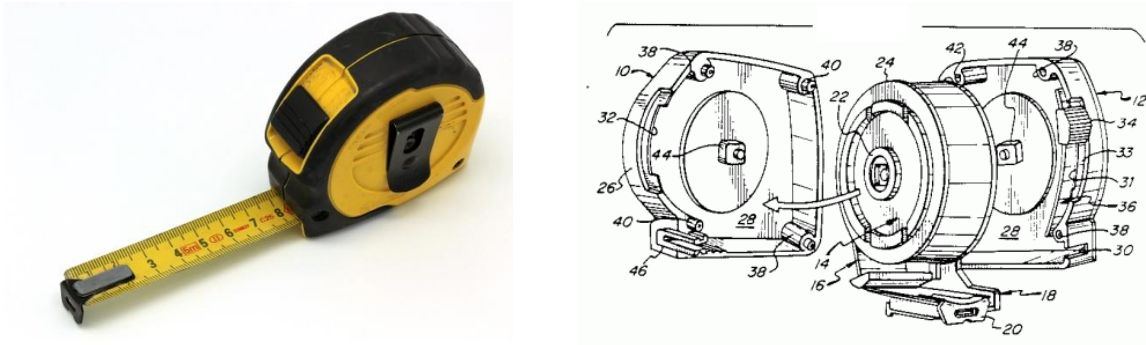
Este mecanismo presenta una desventaja de cara a ser aplicado al diseño de un recogecables para un electrocardiógrafo debido a que requiere una gran cantidad de espacio debido al mecanismo pendular, que sólo podría ser activado tras haber tirado fuertemente de él, por lo que podría deteriorar e incluso romper los cables.

#### **1.6.2.4. Sistema recogedor de cables para cinta métrica.**

El último sistema analizado ha sido el de una cinta métrica retráctil. El sistema es análogo al descrito para el ratón de ordenador, con la salvedad que el sistema recoge toda la cinta en uno de los extremos en lugar de a la mitad. Como se aprecia en la Figura 1.20, el mecanismo siempre está activado y se bloquea con un pasador cuando está extendida la cinta, no poseyendo como en los casos anteriores de una palanca de gatillo que actúe sobre la rueda para que el resorte recoja, sino que esto ocurre cuando se retira el pasador automáticamente.

Este sistema requiere que se bloquee en posición extendida la cinta. Desde el punto de vista de su posible aplicación para nuestro diseño, presenta la desventaja de ejercer presión sobre los cables los que podría deteriorar la cubierta y por lo tanto su aislamiento. El

mecanismo no se ajusta a nuestros requerimientos porque no se bloquea el cable en cualquier posición automáticamente.



**Figura 1.20:** Sistema recogida en una cinta métrica retráctil [6].

## 1.7. Normativa

Normativa empleada para determinar el radio de curvatura de los cables

- Norma UNE 21021:1983, Piezas de conexión para líneas eléctricas hasta 72,5 kV
- Conformidad con la normativa, clase eléctrica tipo I CF, EN 60601-1, EN 60601-2-25, CEI 60601-2-51.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, RD 842/2002, RD 560/2010 y sus correspondientes actualizaciones.

Normativa revisada para cumplir con los requisitos para equipamiento eléctrico de uso médico.

- IEC 60601-1-1 1988-12). Medical electrical equipment — part 1: general requirements for safety.
- ANSI/AAMI EC12-1991. 1991. Disposable ECG electrodes. 3rd edition.
- IEC 60601-1-am1 (1991-11). 1991. Medical electrical equipment — part 1: general requirements for safety. Amendment 1".
- ANSI/AAMI EC11R-1991. 1991 (reaffirmed 2001). Diagnostic electrocardiographic devices.
- IEC 60601-1-1 (1992-06). 1992. Medical electrical equipment — part 1: general requirements for safety. Collateral standard: safety requirements for medical electrical systems,

- IEC 60601-2-25 (1993-03). 1993. Medical electrical equipment-part 2: particular requirements for the safety of electrocardiographs.
- ANSI/AAMI EC53-RC01.1995. ECG cables and leadwires.
- IEC 60601-1-1-am1 (1995-11). 1995. Medical electrical equipment — part 1: general requirements for safety. Section 1. Collateral standard: safety requirements for medical electrical systems. Amendment 1.
- IEC 60601-1-am2 (1995-03). 1995. Medical electrical equipment — part 1: general requirements for safety. Amendment 2.
- IEC 60601-2-25-am1 (1999-05). 1999. Medical electrical equipment- part 2: particular requirements for the safety of electrocardiographs. Amendment 1."
- IEC 60601-1-2 (2001-09). 2001. Medical electrical equipment — part 1: general requirements for safety. Section 2. Collateral standard: electromagnetic compatibility — requirements and tests.

## **1.8. Requisitos del proyecto**

El diseño de un sistema de recogida de cables para un electrocardiógrafo tendrá que cumplir una serie de requisitos indispensables debido a su forma de uso.

### **1.8.1. Descripción y requisitos de los cables.**

Como se ha comentado anteriormente, los cables de los electrocardiógrafos podrán presentar pequeñas variaciones en función del modelo del aparato. De manera particular, los diseños de los sistemas de recogecables del presente proyecto harán referencia a los electrocardiógrafos del Servicio Canario de Salud. Estos electrocardiógrafos presentan un sistema de 10 cables, con diámetro de 2 mm van unidos a un terminal RS-232 para conectarlos al electrocardiógrafo. La longitud de los cables, de manera habitual, suele oscilar desde los 1,5 a los 2 metros. La terminación de los cables es un conector, generalmente tipo banana de 4 mm de diámetro que se conecta a los electrodos tipo pinza o tipo ventosa.

En primer lugar, los cables estarán recogidos en un cilindro por lo que el diseño del sistema estará condicionado por el radio máximo de curvatura. Los radios mínimos de curvatura para los cables eléctricos que son utilizados para sistemas en baja tensión vienen especificados en la norma UNE 21176 "Guía para la utilización de cables armonizados de baja tensión". Así mismo, el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión en el ITC-BT 20



punto 2.2.2 hace referencia a que: “Se evitará curvar los cables con un radio demasiado pequeño y salvo prescripción en contra fijada en la Norma UNE correspondiente al cable utilizado, este radio no será inferior a 10 veces el diámetro exterior del cable”

Según el diámetro exterior del cable, la Norma UNE 21031:2014 establece para uso móvil de los cables de tensión asignada inferior o igual a 450/750 V (U<sub>o</sub>/U). Cables de utilización general los siguientes criterios en la Tabla 1.1.

Uso del cable	Para diámetro de cable
	<b>D ≤ 8 mm</b>
<b>Enrollamiento repetido</b>	7D

Tabla 1.1: Radios máximos de curvatura para cables unipolares según la norma UNE 21021

El dispositivo que se pretende diseñar va a producir un enrollamiento repetido de los cables y como su diámetro es de 2 mm, entonces el radio mínimo para enrollar los cables ha de ser 14 mm.

### 1.8.2. Requisitos generales del mecanismo

Los requisitos tenidos en cuenta en el mecanismo diseñado han sido:

1. Permitir la recogida controlada y guiada de los cables para evitar que se retuerzan y se sometan a tensiones innecesarias que creen interferencias en la señal eléctrica o desgaste de componentes.
2. Permitir el almacenamiento de los cables en una carcasa.
3. Ser portable e independiente de la máquina.
4. Ser de fácil montaje y mantenimiento, pudiéndose emplear con cualquier electrocardiógrafo, independiente de su marca comercial.
5. Facilidad de uso y de diseño ergonómico.
6. Dimensiones y peso reducidos al máximo.
7. Robustez de diseño y de los materiales para ofrecer resistencia al uso continuo del sistema.
8. Fiabilidad del mecanismo para reducir los fallos del mismo al mínimo.
9. Facilitar la liberación del cable con rapidez en caso de fallo.
10. Independencia de los cables para uso individual.

11. El diseño del sistema posibilitará la fabricación por impresión 3D.

### **1.8.3. Análisis de los mecanismos estudiados**

Tras haber analizado los diferentes mecanismos, en la Sección 1.6 y haber indicado sus ventajas e inconvenientes. Vemos que ninguno de los sistemas se adapta perfectamente a las necesidades del recogecables que necesitamos para el electrocardiógrafo. Si bien los sistemas de recogida que se vieron en la cinta métrica y en el cinturón de seguridad quedaron descartados por completo, los conceptos de los mecanismos de los ratones de ordenador y el de la aspiradora, presentan características constructivas más convenientes.

El sistema de la aspiradora desde el punto de vista mecánico es muy interesante para ser usado en el presente proyecto, pero la manera en la que los cables hacen la interconexión, a través de delgas y escobillas hace que desde el punto de vista eléctrico no sea apropiado. En el caso del ratón, la mitad del cable enrolla de forma levógira y la otra mitad de forma dextrógira, pero el mecanismo, al estar ubicado a la mitad del cable, introduce un peso que dificultaría el sistema de colocación de los electrodos, pudiendo forzar su caída.

La particularidad de los cables a emplear, que teniendo conexión por ambos extremos tenemos que introducir en el sistema de recogecables, hace que sea más difícil el diseño que si se diseñara un cable con el sistema de recogecables integrado.

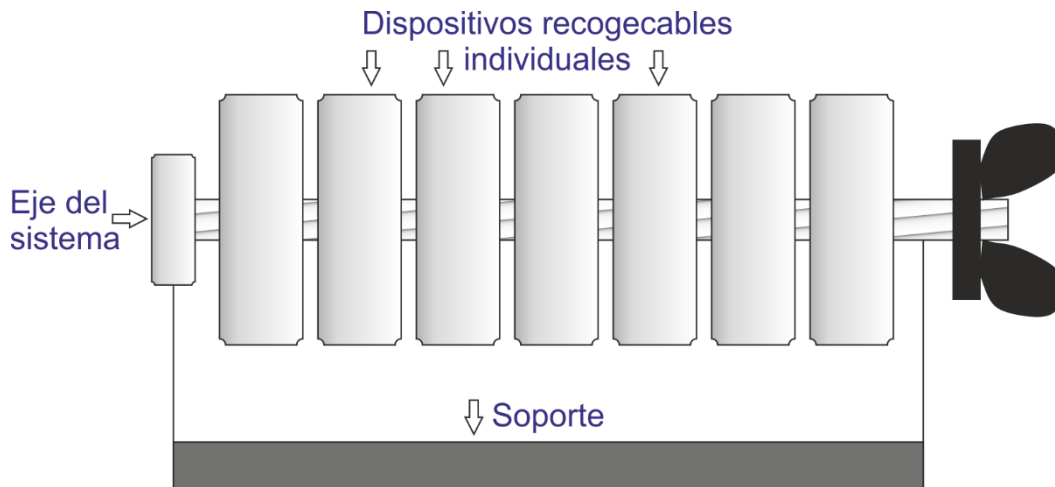
Sin embargo, como mezcla de ambas soluciones comerciales, se plantea en este proyecto realizar un sistema como el de la aspiradora, un mecanismo de trinquete, pero con la idea del ratón de emplear el sistema alejado de los extremos. En nuestro caso, parte del cable se desenrollará normalmente al tirar de él y al mismo tiempo un parte muchísimo menor se quedará dentro del mecanismo a la vez que se desenrolla. La necesidad de que se quede dentro del dispositivo viene impuesta porque cada cable se podrá enrollar y desenrollar individualmente para evitar enredos, y por lo difícil de introducir un cable existente en el dispositivo.

## **1.9. Análisis de las soluciones**

### **1.9.1. Prototipo 1**

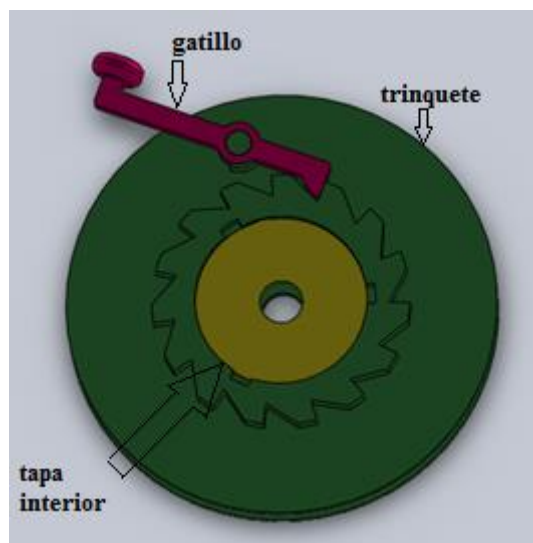
La solución para el sistema se contempla como una serie de dispositivos individuales, uno por cada cable del aparato, acoplables entre sí a través de un eje central. El eje central sería

un eje roscado que permita usar tantos dispositivos como cables tenga el aparato electrocardiógrafo a usar.



**Figura 1.21:** Soporte y mecanismos individuales.

En este punto comienza la descripción del diseño del mecanismo individual.



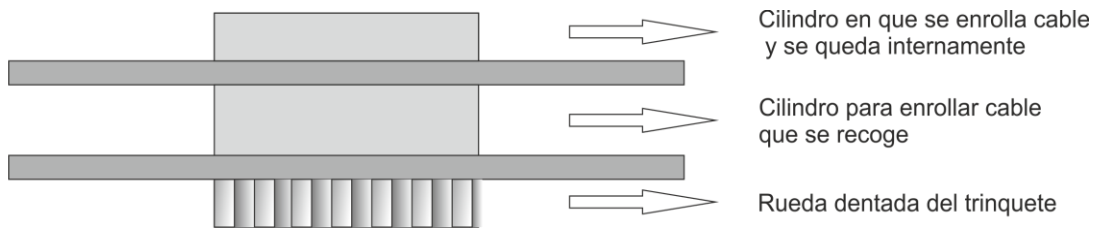
**Figura 1.22:** Piezas diseñadas en el prototipo 1.

### 1.9.1.1. Componentes del mecanismo individual

El dispositivo contaría inicialmente con las siguientes partes.

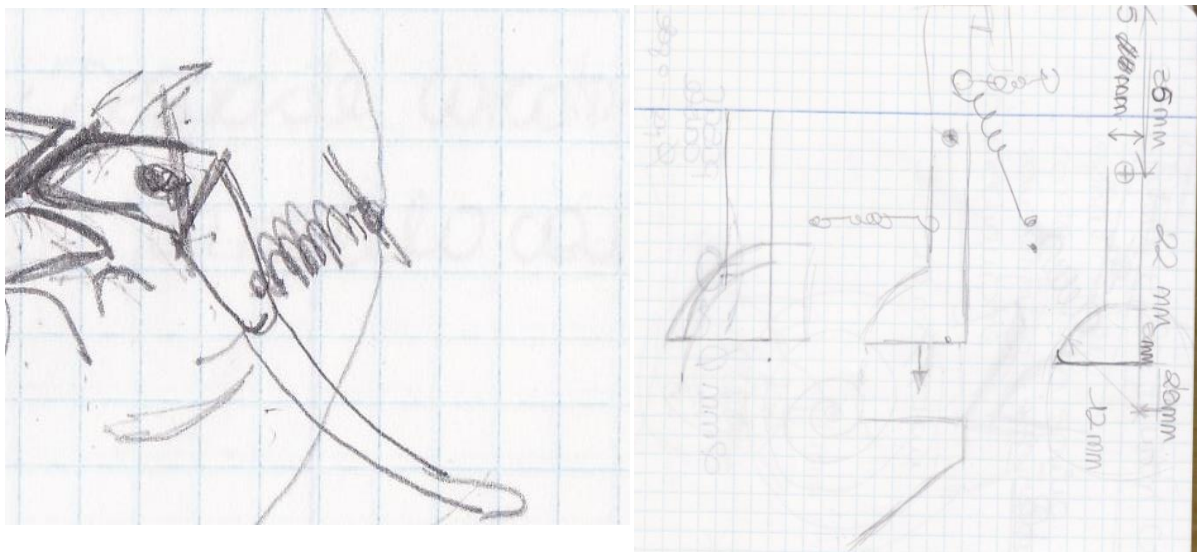
1. Una rueda dentada de trinquete, solidaria a un cilindro de dos diámetros distintos. Esta pieza sirve para bloquear el movimiento en el sentido de recogida del cable, mientras este se necesita extendido. Los cilindros son el soporte sobre el que se

enrolla el cable. A esta pieza la nombraremos como trinquete o pieza 1 en este documento.



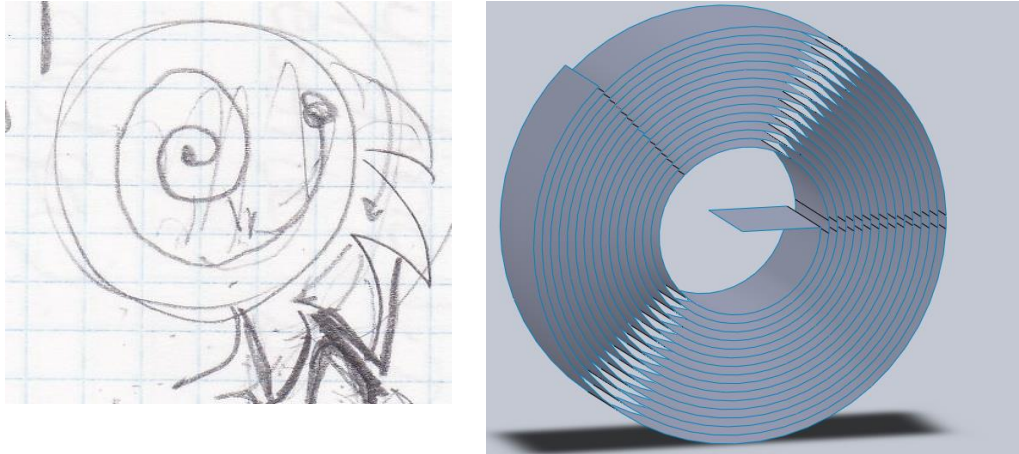
**Figura 1.23:** Croquis de la rueda dentada del trinquete con el sistema para almacenar el cable.

2. Un gatillo con un pulsador, que se engancha en la rueda dentada en estado de reposo, y que cuando es liberado permite el enrollamiento del cable. Esta pieza la llamaremos gatillo o pieza 2.



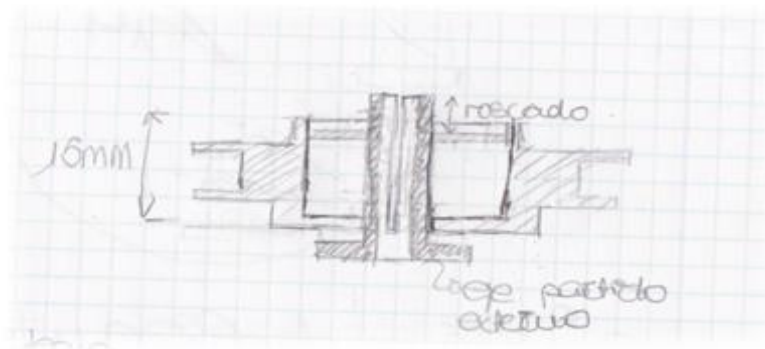
**Figura 1.24:** Croquis del gatillo.

3. Un resorte de tensión constante o de fuerza. Este es el responsable de acumular la energía necesaria para el enrollamiento del cable al ser liberado la rueda dentada del trinquete. Esta será la pieza 3.



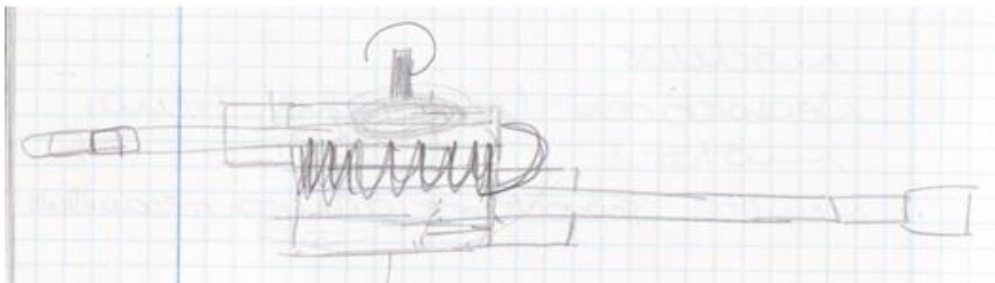
**Figura 1.25:** Croquis del resorte de tensión constante.

4. Un eje en el que se engancha el resorte de tensión constante. Lo llamaremos eje del mecanismo o pieza 4.



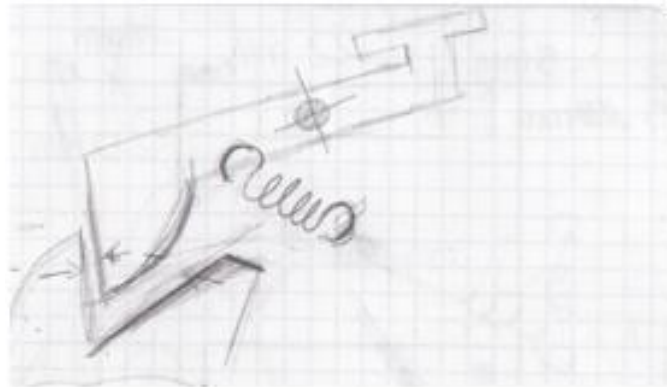
**Figura 1.26:** Croquis del mecanismo del eje del mecanismo.

5. Una carcasa para alojar el cable enrollado y el mecanismo de trinquete. La llamaremos carcasa o pieza 5.



**Figura 1.27:** Croquis de la carcasa.

6. Un resorte pequeño que impulse el gatillo a su posición original cuando este no se encuentre pulsado. A esta pieza la llamaremos resorte del gatillo o pieza 6.



**Figura 1.28:** Croquis del resorte del gatillo.

### ***1.9.1.2. Funcionamiento del mecanismo***

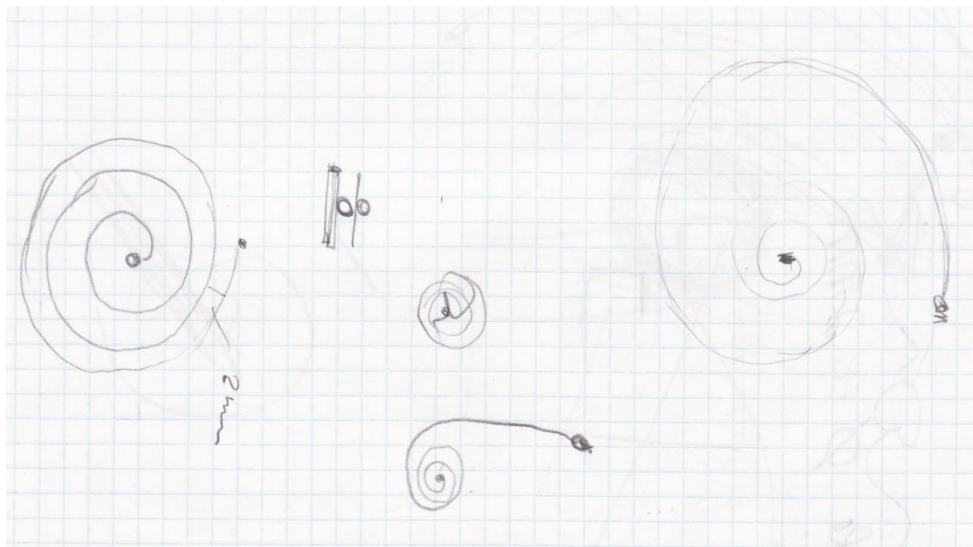
El funcionamiento del mecanismo empieza por explicar la colocación del cable dentro del dispositivo. El cable se enrollaría desde dentro hacia el extremo en el cilindro de radio más pequeño, se pasaría a través de un orificio practicado en las paredes laterales al cilindro de mayor diámetro y se enrollaría en este desde zona media hacia el extremo. En la carcasa externa se dispone de salidas enfrentadas para ambos extremos del cable. En el interior de esta pieza combinada de cilindros y rueda dentada se encuentra el resorte de tensión constante, que se conecta en su extremo interno con un eje y en su extremo externo con la pieza antes mencionada. En la carcasa externa se practican unos agujeros para la salida de los cables y se cierra todo el mecanismo con una tapa que cubre a su vez el gatillo que bloquea la rueda dentada.

Todo el proceso tanto de introducir el cable como de ensamblaje del mecanismo se explican con mayor detalle en los anexos.

### ***1.9.1.3. Solución de problemas y decisiones de diseño***

#### ***a. Pieza 1.***

El enrollamiento de un cable es más eficiente si este es plano en vez de redondo. La solución que se propuso para evitar enredos en el cable que se queda dentro del dispositivo, fue pegarle una lámina de acetato para conseguir que fuera en plano.

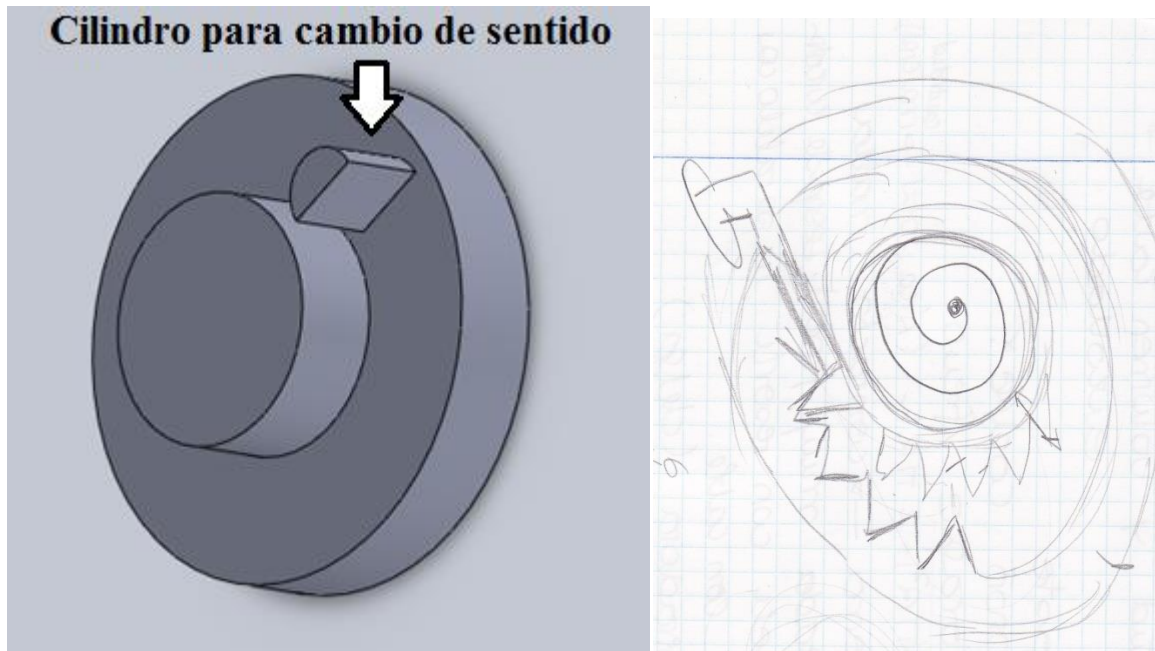


**Figura 1.29:** Croquis de los tipos de enrollamientos analizados.

La mayor parte del mecanismo se diseñará para ser realizada en un plástico duro, tipo ABS.

El principio del análisis de la solución, fue la determinación de los radios mínimos de enrollamiento de los cables, que fueron los que impusieron las dimensiones fundamentales del mecanismo. En este cálculo se empleó la norma UNE 21176 “Guía para la utilización de cables armonizados de baja tensión”. En esta norma se indican los radios mínimos de curvatura a emplear según el diámetro externo y el tipo de cable, así como las condiciones de uso. El radio mínimo que podemos emplear es de 14 mm.

El dispositivo ha de tener dos cilindros para el enrollamiento de cable. Un cilindro grande, donde se sitúe la mayoría del cable, para desenrollar con el mínimo de vueltas posibles. Y un cilindro pequeño, del mínimo radio posible para consumir la menor cantidad de cable, porque este sería el cable que se quedaría dentro del dispositivo y el que por tanto se perdería en cuestión de uso. En un primer momento se estudió la posibilidad de que esta pieza fuera aislada del mecanismo de rueda dentada. Esta posibilidad se desechó por la de una pieza solidaria de cilindros y ruedas dentadas por considerar que permitía un menor tamaño del mecanismo al aprovechar mejor el espacio. La rueda dentada interna en el mecanismo de trinquete permite el giro en un solo sentido, por lo que no se puede emplear en el presente diseño.



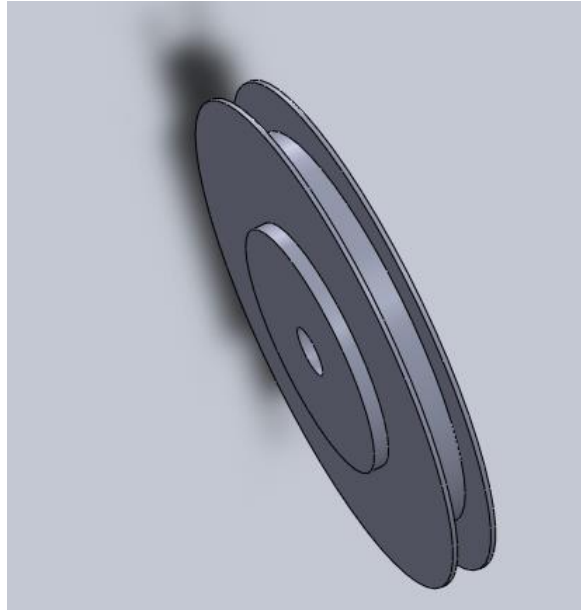
**Figura 1.30:** Diseño y croquis de cilindros de arrollamiento del cable.

La pieza semicircular de la figura se ideó como una forma de pasar el cable de un cilindro a otro y cambiar la dirección de enrollamiento.

El radio pequeño en un principio se eligió de 20 mm para respetar el radio mínimo de 14 mm y tener un margen de seguridad. El radio grande se eligió de 40 mm porque con un cable de 1,5 m de largo y 2 mm de diámetro, y contando que el dispositivo diera 4 vueltas, nos dejaría 1 m de cable libre y  $\frac{1}{2}$  m de cable dentro del dispositivo. En el caso de un cable de 2 m se necesitarían menos de 6 vueltas para obtener la liberación del cable, que sería de aproximadamente 1,30 m en el caso de la parte útil. Los cálculos se detallan en el anexo de cálculo en base al perímetro de los cilindros.

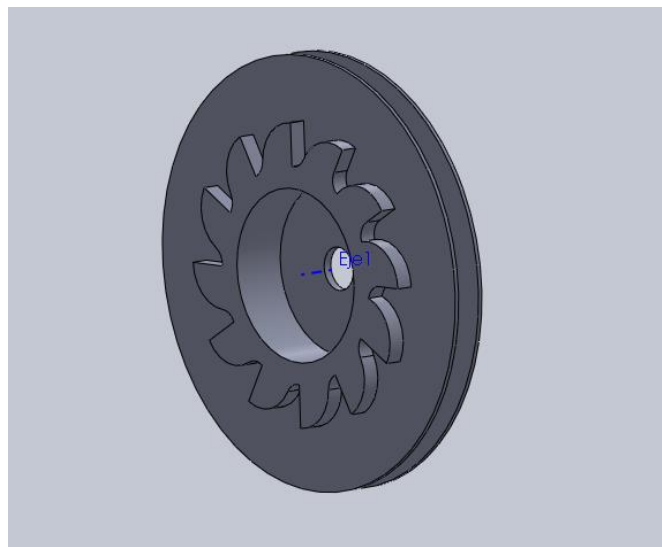
Los dos cilindros se separan con una pared de radio 50 mm para evitar el paso de cable de uno a otro. La rueda dentada también se separa de los cilindros con una pared de las mismas características, para evitar el enredo del cable con la misma.





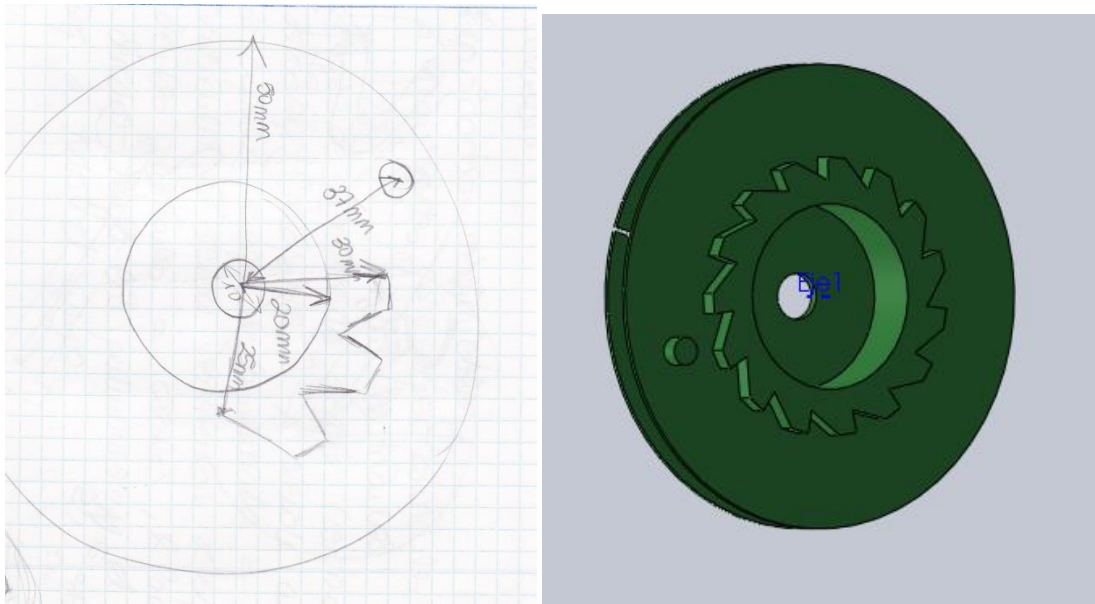
**Figura 1.31:** Diseño de trinquete.

El resorte de tensión constante tiene que estar alojado en la zona interna de la rueda dentada, es decir, en el interior de la pieza 1. Las medidas elegidas en primer momento no permiten el alojamiento del resorte escogido, por lo que se tiene que cambiar el radio del cilindro de menor diámetro, quedando éste fijado en 25 mm.



**Figura 1.32:** Diseño de trinquete.

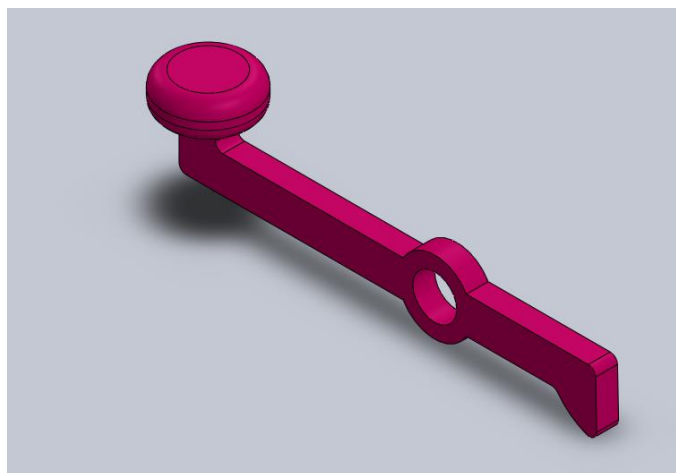
El eje sobre el que gira el gatillo se decide hacer solidario con la pieza 1 para evitar uniones innecesarias y que fuera lo más compacto posible.



**Figura 1.33:** Croquis y diseño de trinquete con eje del gatillo.

b. Pieza 2.

El gatillo se diseña en función del espacio disponible desde los dientes de la rueda y el borde del dispositivo.



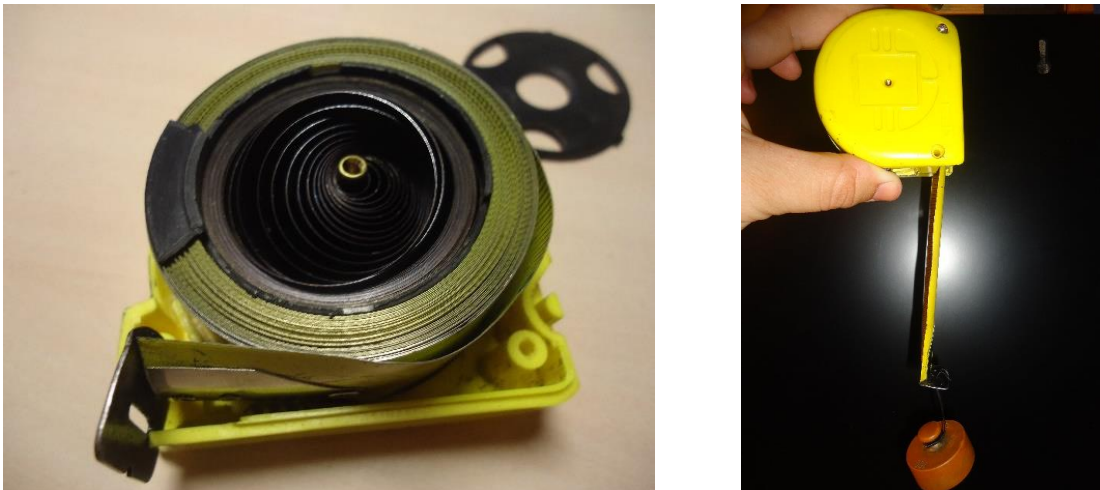
**Figura 1.34:** Diseño del primer gatillo.

c. Pieza 3.

En el análisis de la solución propuesta se incluyó la necesidad de un resorte de tensión constante, que es el encargado de realizar el esfuerzo para el enrollamiento del cable una

vez que se presiona el gatillo. Este resorte tiene que desarrollar la fuerza aproximada de 1N, para vencer la gravedad y el peso del cable. La fuerza se calculó a través de un ensayo con un resorte de tensión constante de una cinta métrica que se desarmó para tal fin. Se escogió un resorte de tensión constante de similares características que el ensayado de un catálogo de fabricantes.

El ensayo para determinar la fuerza necesaria se realizó con el resorte de la cinta métrica añadiendo pesos en su extremo externo hasta que se llegó al peso que no podía vencer el resorte y lo mantenía en equilibrio. Al peso al que se llegó en este ensayo se le añadió un factor de seguridad de 2 para garantizar que la recogida del cable se realizara incluso en las condiciones más adversas, con el peso extra del electrodo.



**Figura 1.35:** Ensayo para determinar la fuerza necesaria.

d. Pieza 7.

Los resortes de tensión constante tienen tendencia a desplazarse lateralmente cuando son sometidos a tensiones, por lo que se decide colocar una tapa para evitar estos desplazamientos y que se produzcan interferencias no deseadas al movimiento. La tapa interior, cerrará el alojamiento del resorte de tensión constante a través de unas chavetas.

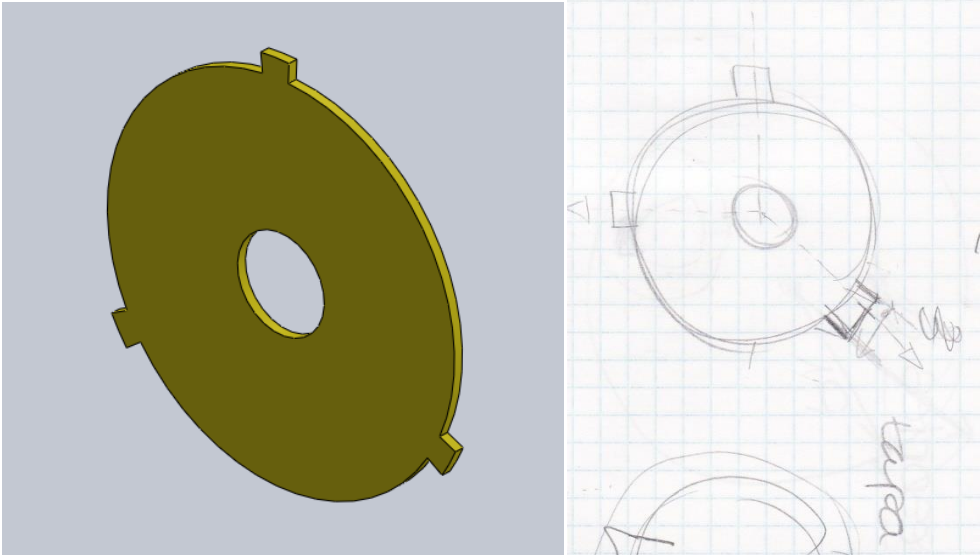


Figura 1.36: Diseño y croquis de la tapa interior con chavetas.

La pieza central del trinquete necesitará unos chaveteros para permitir el cerramiento de su cavidad interior.

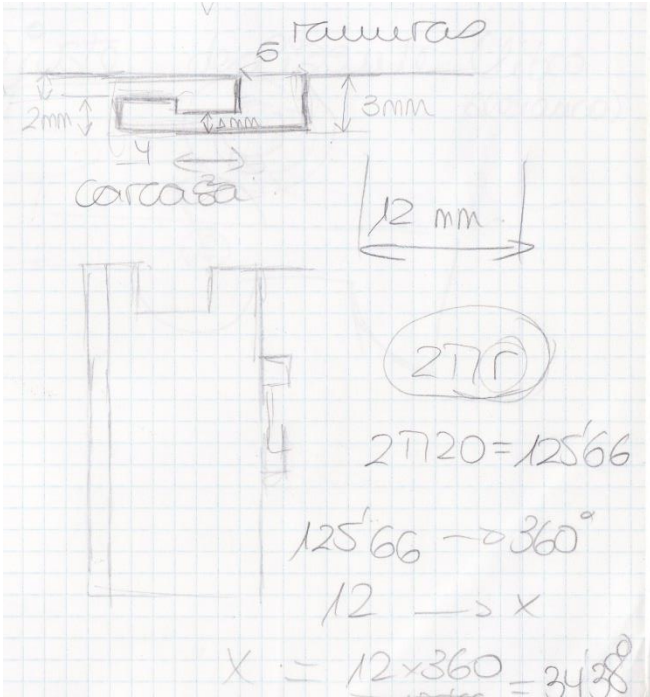


Figura 1.37: Croquis de los chaveteros.

#### 1.9.1.4. Ensamblaje del primer prototipo

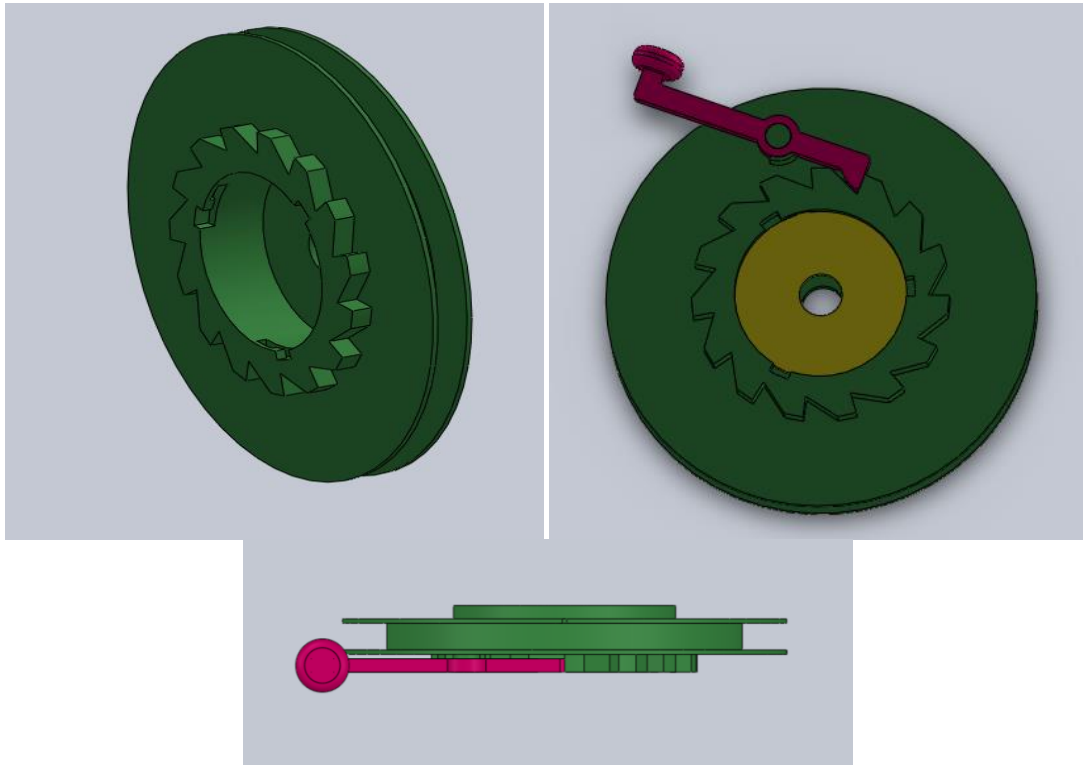


Figura 1.38: Ensamblaje del primer prototipo.

### 1.9.2. Prototipo 2

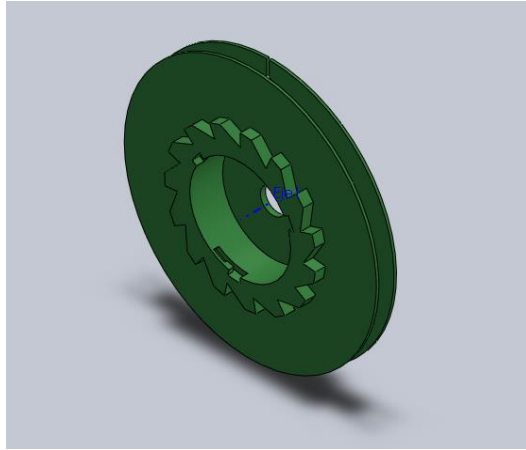
#### 1.9.2.1. Solución de problemas y decisiones de diseño

A continuación se detallan los cambios realizados en las piezas que dieron lugar al segundo prototipo. Las piezas de las que no se hace referencia en este apartado no fueron modificadas o no habían sido diseñadas en este prototipo.

##### a. Pieza 1

El análisis detallado del movimiento del mecanismo muestra un error a la hora de la colocación del eje del gatillo, puesto que si este se encuentra en la misma pieza que la rueda dentada, esta no giraría libremente al pulsar el gatillo. La carcasa y el eje forman parte de las partes fijas del mecanismo, y la pieza 1 es la parte móvil.

El modelo se modifica de nuevo eliminando el gatillo de la pieza 1, y colocándolo en la tapa externa que formará parte de la carcasa, que llamaremos pieza 8 o tapa exterior.



**Figura 1.39:** Diseño de la modificación de la pieza 1.

b. Pieza 2.

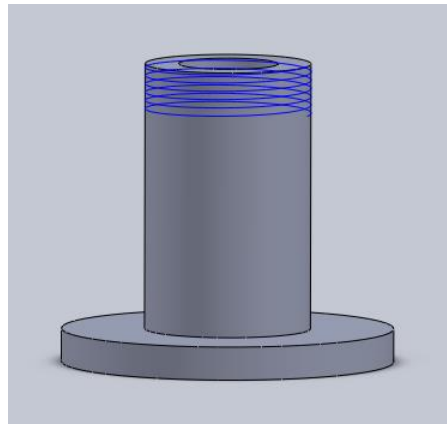
El análisis del momento nos revela que el gatillo está trabajando a compresión, por lo que tiene riesgo de pandear. El gatillo es diseñado de nuevo para que trabaje a tracción. El espacio dentro del mecanismo es determinante para el diseño de esta pieza.



**Figura 1.40:** Diseño de la modificación del gatillo.

c. Pieza 4.

El eje en el que se engancha el resorte de tensión constante, eje del mecanismo, se ideó en un primer momento como un eje roscado.

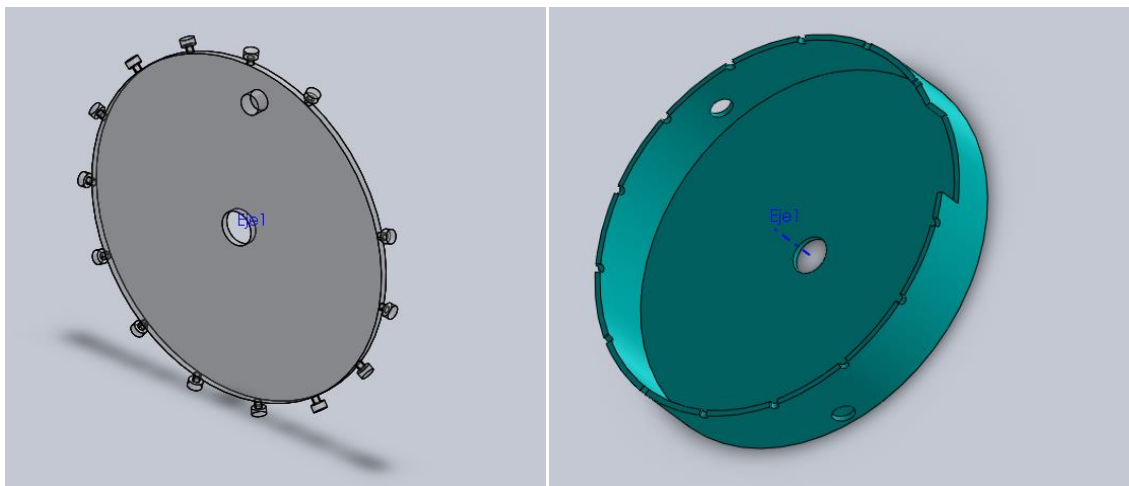


**Figura 1.41:** Diseño del eje roscado.

El eje externo roscado se desechó más adelante para ahorrar espacio y complicaciones al mecanismo.

d. Piezas 5 y 8.

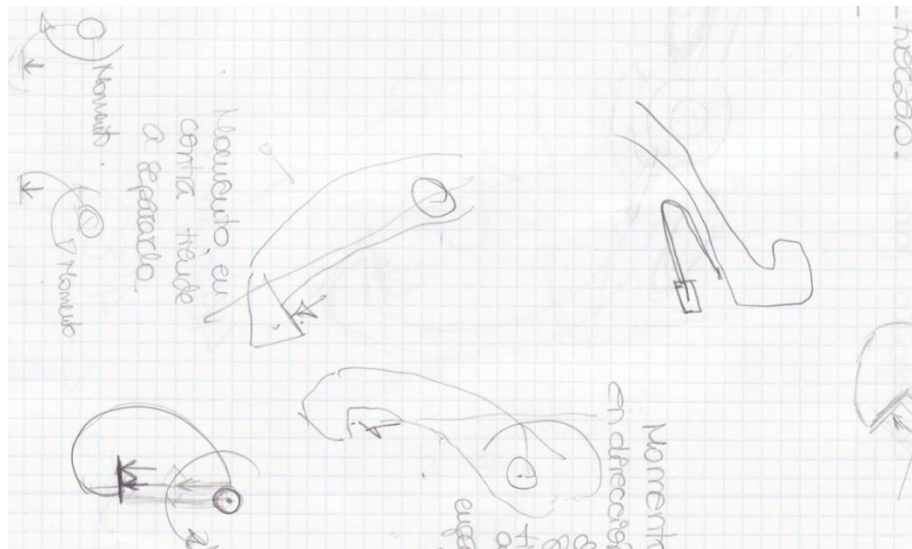
La carcasa externa que recubre el mecanismo consta de una tapa en la que como se ha mencionado se sitúa el eje del gatillo y un recipiente cilíndrico con un hueco para el gatillo y la salida de los cables. La solución al método de cierre se inspiró en la fuerza que tienen las conexiones entre un cilindro y un hueco semicircular.



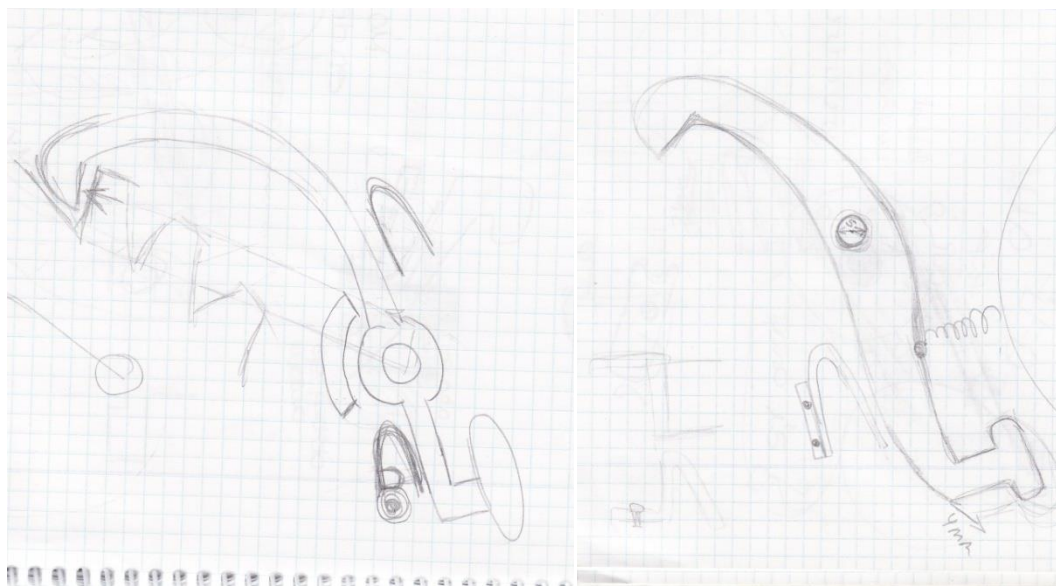
**Figura 1.42:** Diseño de la carcasa externa.

e. Pieza 6.

El espacio para colocar un resorte de recuperación acoplado al gatillo es muy reducido, por lo que se elige emplear un resorte plano, tipo chapa metálica o tipo S de plástico.

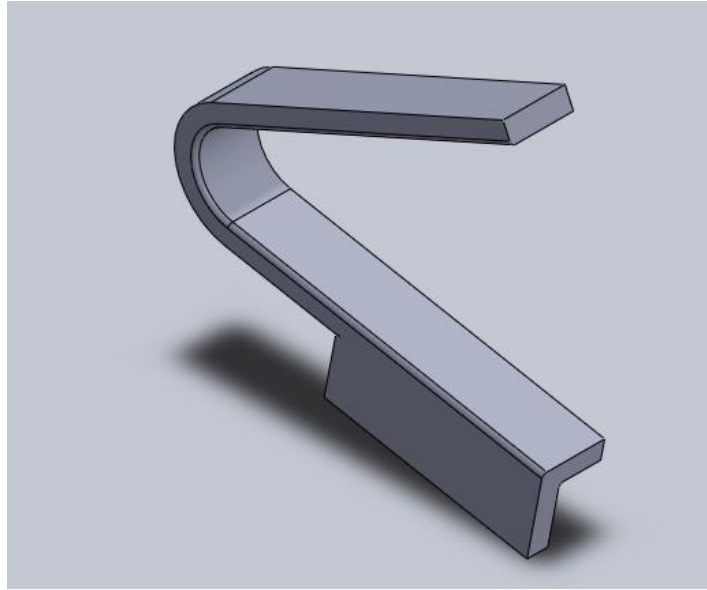


**Figura 1.43:** Croquis del resorte del gatillo.



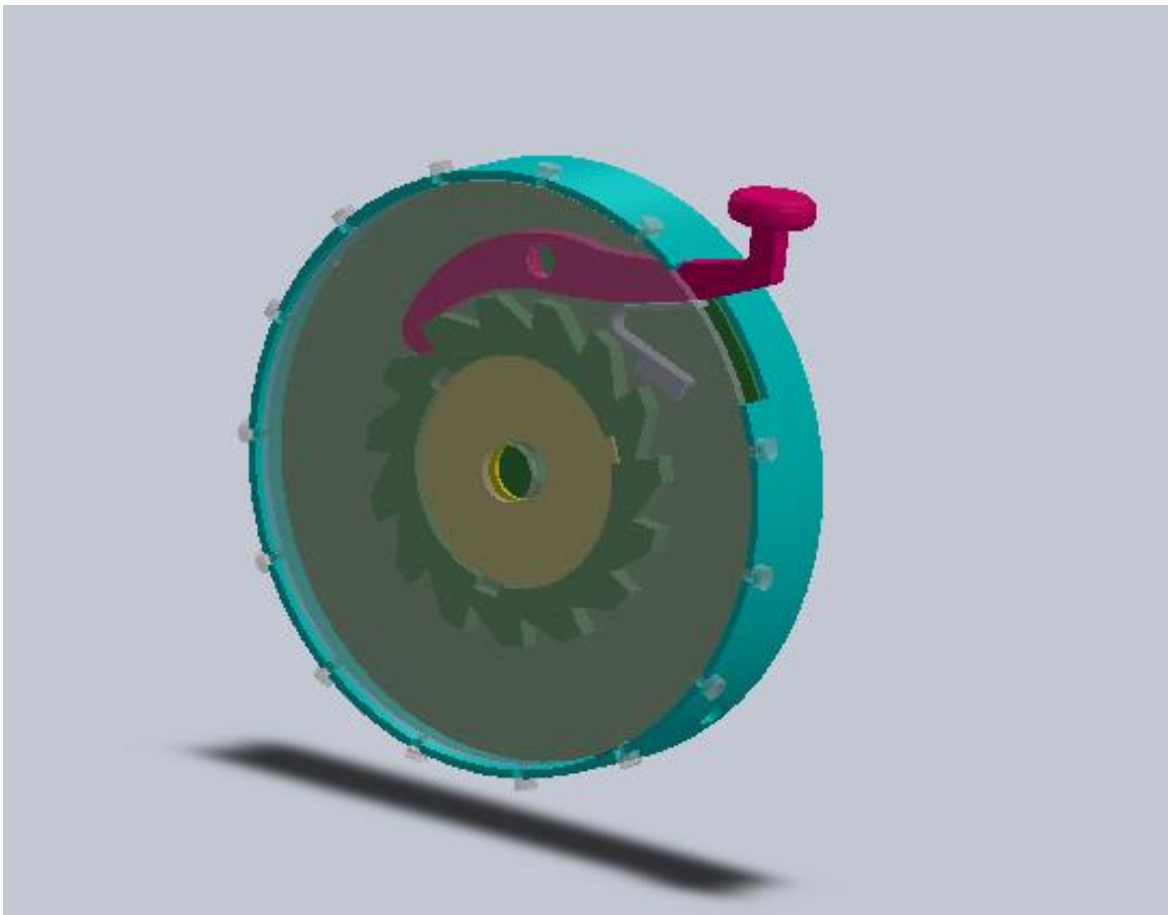
**Figura 1.44:** Croquis del resorte del gatillo y su ubicación en el dispositivo.





**Figura 1.45:** Diseño del resorte de recuperación.

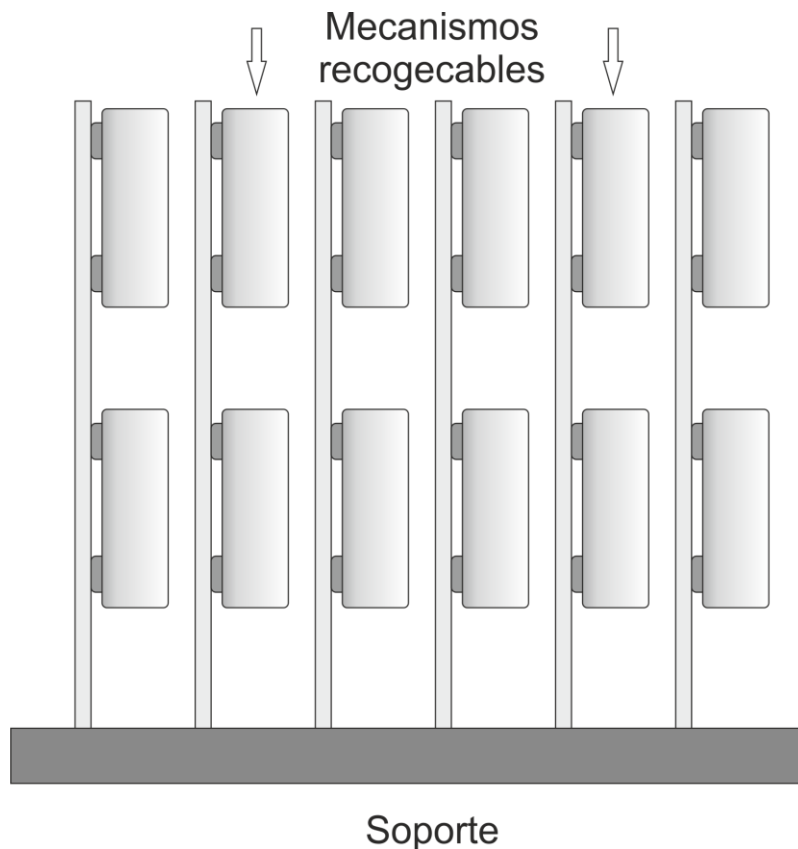
#### ***1.9.2.2. Ensamblaje del segundo prototipo***



**Figura 1.46:** Ensamblaje del modelo 2.

### 1.9.3. Prototipo 3

La segunda opción de ensamblaje es más completa, pero se detectan problemas en los que seguir trabajando, lo que genera un tercer prototipo. En este tercer prototipo se decide que los mecanismos individuales se anclaran a un soporte para facilitar su rápida apertura y liberación del cable en caso de eventual fallo. El sistema se vería como en el siguiente croquis.



**Figura 1.47:** Nuevo croquis del soporte para los sistemas de recogida de cables.

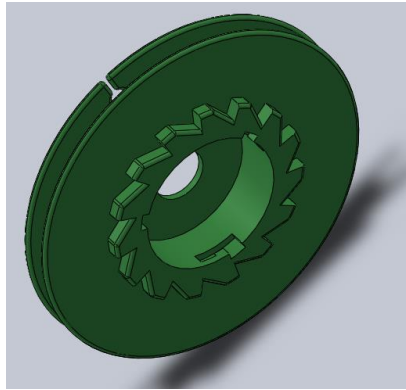
#### 1.9.3.1. Solución de problemas y decisiones de diseño

##### a) Pieza 1.

La revisión de los cálculos denota que el radio más pequeño de los cilindros del trinquete no está optimizado, por lo que se vuelve a cambiar quedando en 22mm.

El eje del mecanismo se decide hacer más ancho por temor a que se abra con las tensiones que genera el resorte de tensión constante, por lo que se modifica la pieza 1 proporcionándole un hueco mayor.

Las paredes laterales que guían al cable en su sitio se ensanchan para que sea más fácil su impresión en 3D, y se redondean algunas aristas para reducir el riesgo de acumulo de tensiones.

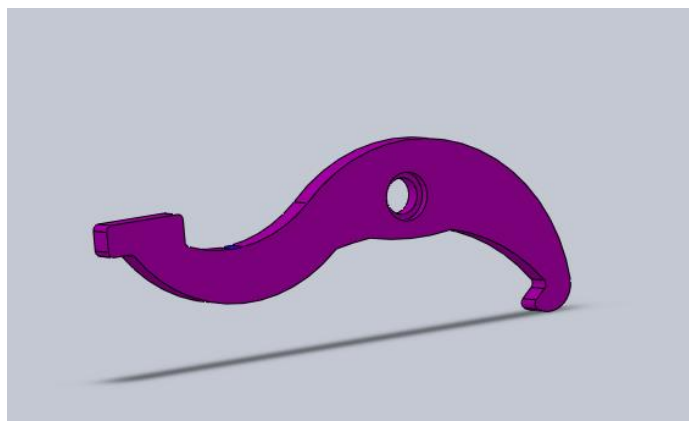


**Figura 1.48:** Diseño de la pieza 1 del prototipo 3.

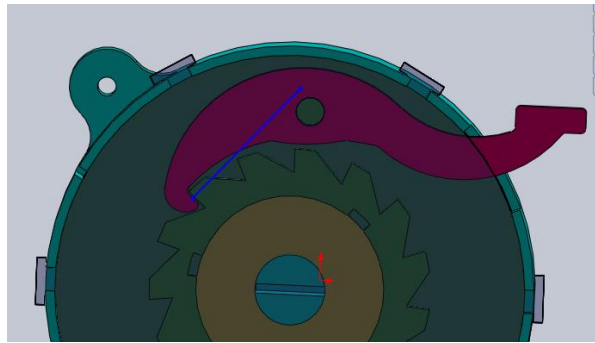
b) Pieza 2.

El gatillo se modifica totalmente porque se traslada su eje en la tapa de la carcasa para que no haya riesgo de que roce con el trinquete. Al trasladar el eje, el gatillo no se acopla al hueco existente y el momento que se genera hace que este trabaje a compresión nuevamente. La nueva pieza gatillo se rediseña teniendo en cuenta el método de fabricación por impresión 3D, y con pocas aristas para evitar acumulación de tensiones.

También se añade una ampliación parcial del radio del hueco para el eje. La función de este escalón será que una vez en su sitio el gatillo se aplicará calor en la punta del eje para dilatarlo y que no se salga de su sitio.



**Figura 1.49:** Diseño del gatillo del modelo 3.



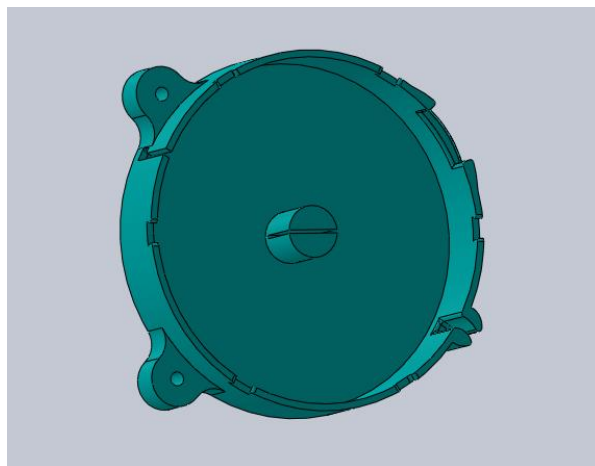
**Figura 1.50:** Comprobación de momento positivo en el gatillo.

c) Pieza 4 y 5.

El eje se decide hacerlo solidario con la carcasa por ahorro de espacio y sencillez.

Los huecos para la salida de los cables de la carcasa no permiten la colocación de estos, por lo que habrá que replantearlos, y hacer que la salida del cable por el que se tira para desenrollarlo sea suave y guíe al cable para evitar la generación de tensiones.

En esta pieza también se han modificado los huecos de anclajes a la carcasa, que se han ensanchado para mayor seguridad y facilitar su impresión 3D. Se le añaden unas orejas a la pieza para poder anclarla con dos tornillos al soporte y se ensancha la zona de contacto con el gatillo.

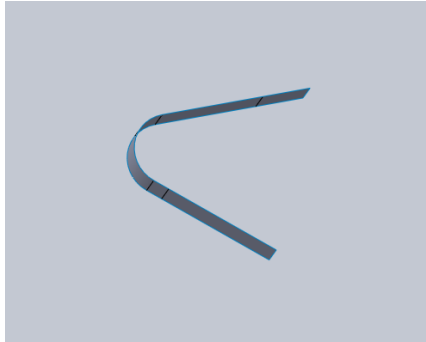


**Figura 1.51:** Diseño de la carcasa.

d) Pieza 6.

El resorte de recuperación del gatillo se modifica para mayor sencillez y para facilitar un anclaje en la tapa de la carcasa sencillo.

La pieza diseñada sufre varias modificaciones en espesor , material y forma porque al ser realizado su estudio con el SolidWorks vemos que se supera el límite elástico del material.

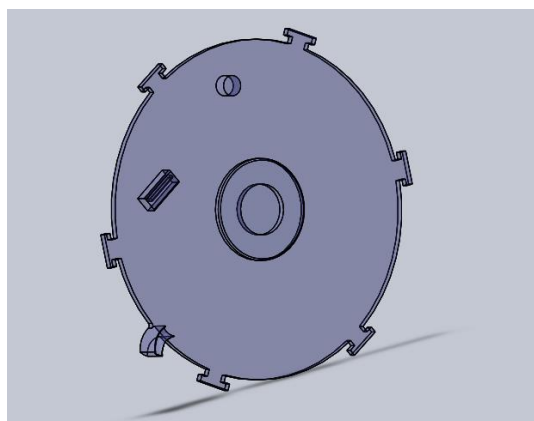


**Figura 1.52:** Diseño del resorte de recuperación del gatillo.

e) Pieza 8.

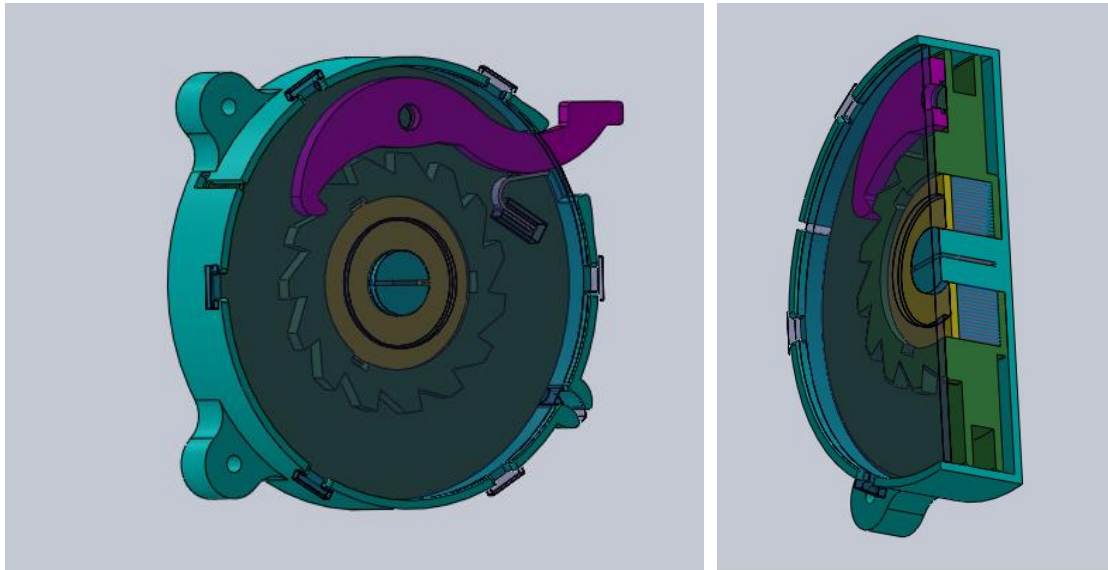
La tapa de la carcasa se modifica para hacer más robustos y planos los sistemas de cierre con la carcasa. El hueco existente en esta tapa para que pasara el eje del mecanismo se cierra y se genera un área alrededor de la zona de acople del eje para embutirlo y evitar que este se abra. En esta tapa se diseña un área donde se aloja el resorte de recuperación del gatillo.

El eje del gatillo se ha trasladado de sitio y se ha añadido material en la zona de salida del cable para conformar junto a la carcasa una boquilla.



**Figura 1.53:** Diseño de la carcasa exterior.

### 1.9.3.2. *Ensamblaje del tercer prototipo*



**Figura 1.54:** Ensamblaje del tercer prototipo.

### 1.9.4. **Diseño final**

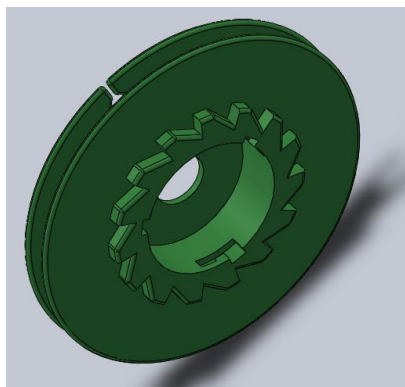
Los estudios realizados en las diferentes piezas nos muestran problemas en el resorte de recuperación del gatillo. Por lo tanto, esto nos lleva a realizar cambios en el prototipo 3 que se describen a continuación.

En este apartado también se definirán todas las piezas que conforman el prototipo final.

#### 1.9.4.1. **Piezas del diseño final**

##### a) *Pieza 1.*

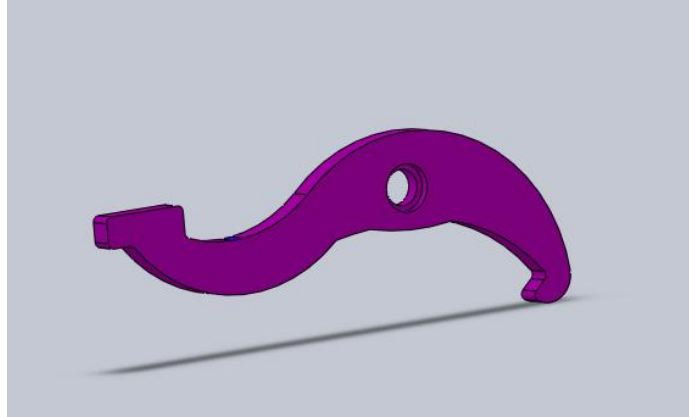
Esta pieza no ha sido modificada por lo que coincide con la del prototipo 3.



**Figura 1.55:** Diseño final de la pieza 1.

b) *Pieza 2.*

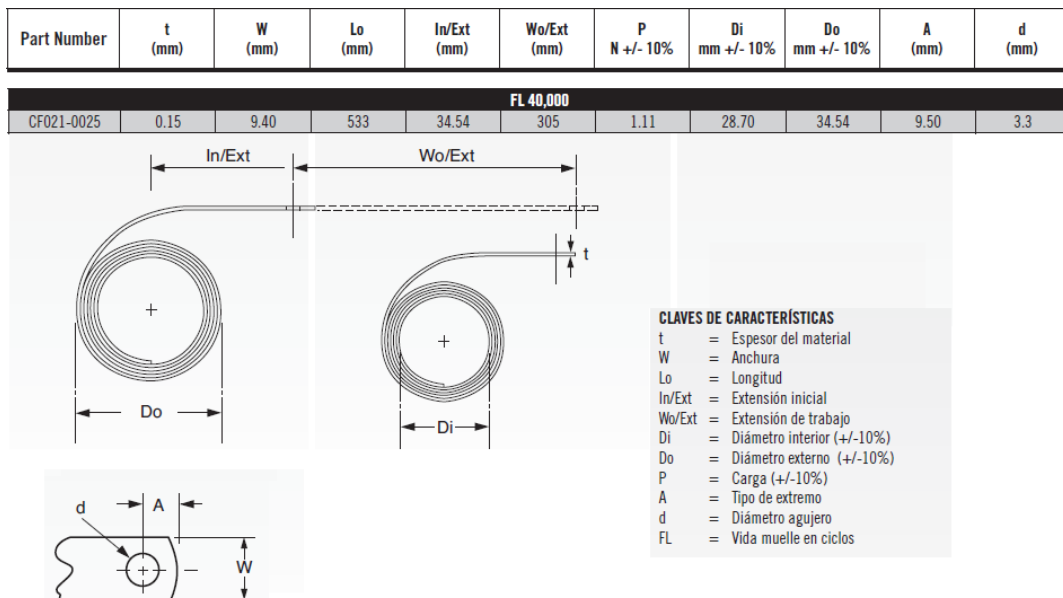
Esta pieza tampoco ha sido modificada por lo que también coincide con la del prototipo anterior.



**Figura 1.56:** Diseño final del gatillo.

c) *Pieza 3.*

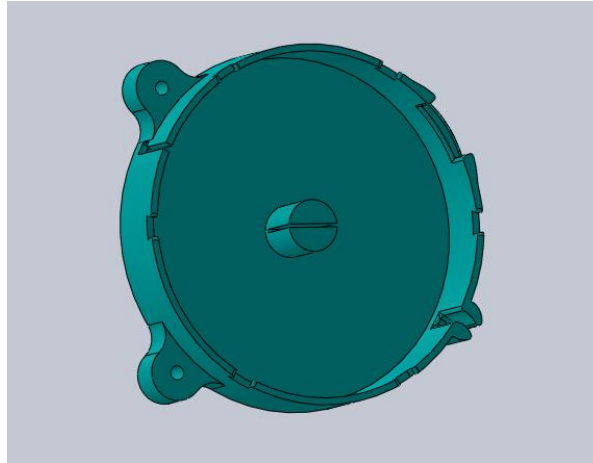
Se ha optado por la elección de un resorte de tensión constante del fabricante SPEC, modelo CF021-0025, que cumple con los requisitos descritos en el modelo anterior, desarrollo de una fuerza aproximada de 1N, necesaria para vencer la gravedad y el peso del cable, cuyas especificaciones se detallan a continuación.



**Figura 1.57:** Características del resorte de tensión constante seleccionado.

d) *Piezas 4 y 5.*

Tampoco sufren modificación respecto al prototipo 3.



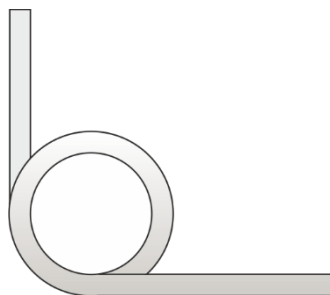
**Figura 1.58:** Diseño final de la carcasa.

e) *Pieza6.*

Como se explica en el anexo de cálculo, el resorte de lámina requiere un ancho mayor del que se dispone en el mecanismo, para que las tensiones de Von Mises se encuentren por debajo del límite elástico del material.

Por lo tanto se ha decidido emplear un resorte de torsión para la recuperación del gatillo. La elección de este resorte se he hecho de un catálogo comercial, teniendo en cuenta el espacio disponible, la fuerza a aplicar para vencerlo y sus dimensiones.

Se ha elegido el resorte de acero inoxidable T014090063R de la casa comercial BGEspaña del catálogo del fabricante SPEC.

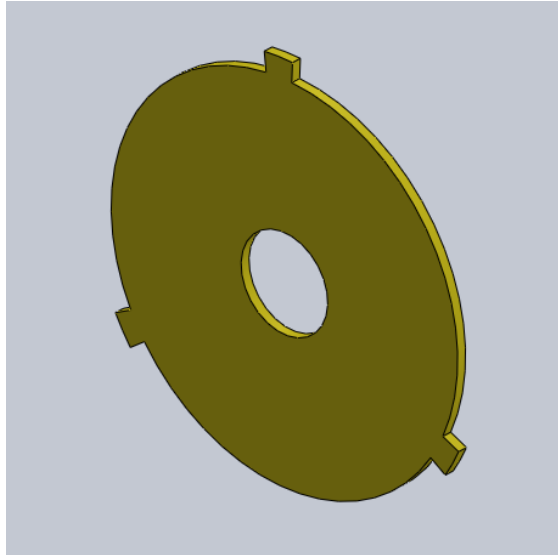


**Figura 1.59:** Imagen del resorte de torsión.



f) *Pieza7.*

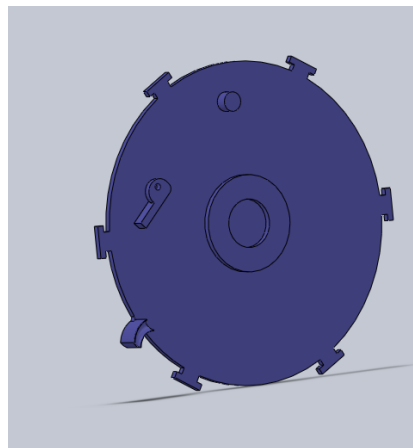
Esta pieza también continúa sin modificaciones respecto a los prototipos anteriores.



**Figura 1.60:** Diseño final de la tapa interior.

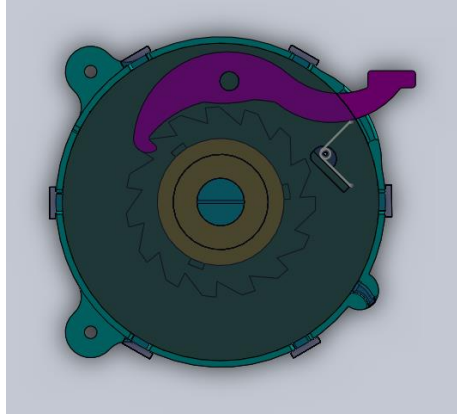
a) *Pieza8.*

Esta pieza sí sufre modificaciones porque se elimina el anclaje del resorte lámina y se diseña un anclaje y un apoyo para el resorte de torsión. El resorte de torsión irá apoyado en un resalte de esta tapa y se sujetará mediante un eje de acero a la misma.



**Figura 1.61:** Diseño final de la tapa de la carcasa.

#### 1.9.4.1. *Ensamblaje del diseño final*



**Figura 1.62:** Ensamblaje del prototipo final.

### 1.10. Programas utilizados

Los programas utilizados para la realización de este proyecto han sido:

- SolidWorks para el diseño y análisis de las soluciones.
- Microsoft Word
- Microsoft Excel
- Cura Ultimaker.

### 1.11. Bibliografía

[1] <http://elmodernoprometeo.blogspot.com.es/2011/08/anatomia-y-fisiologia-del-corazon.html>.

[2] Tutorial de Electrocardiograma, Dr. José Ramón González Juanatey, Servicio de Cardiología UCC, Complejo Hospitalario Universitario de Santiago de Compostela.

[3] Dubin: Interpretación de ECG, Dr. Dale Dubin, MD, COVER Publishing Co., 12290 Treeline Avenue, Fort Myers, FL 33913, USA.

[4] <http://www.automecanico.com/auto2020/seatbelt03.html>, consultada el 20 de agosto de 2015.

[5] [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec\\_gatillo.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_gatillo.htm), consultada el 20 de agosto de 2015

[6] <http://patentados.com/invento/cinta-metrica-enrollable-con-conexion-mejorada-entre-el-resorte-y-el-c.html>, consultada el 20 de agosto de 2015.

Resistencia de materiales, V.I. Feodosiev, Editorial MIR, Moscú, 1997, ISBN 9785884170346.

Solidworks Simulation, Sergio Gómez González, Editorial Ra-Ma, 2010, ISBN 978-84-9964-006-8.

Tratado teórico-práctico de elementos de máquinas: cálculo, diseño y construcción, Niemann.

Diseños de elementos de Máquinas, Robert L. Mott, Pearson Education, 2006, ISBN: 970-26-0812-0.

### **1.12. Presupuesto de un prototipo**

Mediante el uso de la impresión 3D se ha calculado el coste de la realización de un prototipo en plástico ABS, y adquiriendo el resorte de tensión constante y el resorte del gatillo en proveedores especializados, como se muestra en el capítulo de presupuesto. El coste de fabricación del dispositivo asciende a 151,27€.

### **1.13. Conclusiones**

Este proyecto ha sido llevado a cabo con el fin de facilitar las labores del personal sanitario a la hora de realizar un electrocardiograma. Uno de los problemas más comunes a la hora de realizar un electrocardiograma es el enredo de los cables que conectan los sensores. Este problema se agrava en un servicio de urgencias, donde el tiempo de atención al paciente es vital. Atendiendo a las necesidades de un servicio de urgencias, se ha diseñado un sistema fiable para la recogida de cables de un electrocardiógrafo.

El sistema ha sido diseñado con un sistema de retención mediante trinquete lo que permite realizar una rápida recogida de los cables y mantenerlos ordenados.

Desde el punto de vista académico, este proyecto me ha permitido poner en práctica los conocimientos adquiridos durante el Grado en Ingeniería Mecánica para el diseño y selección de los diferentes componentes.

### **1.14. Conclusions**

This project has been carried out to facilitate the work of the medical staff to use the electrocardiogram. One of the most common problems when the use of the electrocardiogram is required, is the tangle of the sensor's cables.

This problem is intensified in an emergency, where patient time care is vital. According to the needs of an emergency service, the design of a winder for the electrocardiograph cables has been performed.

The system has been designed with a ratchet retention system. This design allows a quick collection and the organization of the cables.

From the academic point of view, this project has allowed me to put in practice the knowledge acquired during the Degree in Mechanical Engineering for the design and selection of the different components.

## 1.15. Índice de Figuras

Figura 1.1: Imagen descriptiva del corazón [1].	5
Figura 1.2: Complejo QRS y T [2].	6
Figura 1.3: Derivaciones en el plano frontal [2].	6
Figura 1.4: Secuencia de despolarización de miocardio [2].	7
Figura 1.5: Electrocardiograma típico.	8
Figura 1.6: Electrocardiógrafo típico con sensores tipo pinza y tipo ventosa.	9
Figura 1.7: Cableado tras el uso del electrocardiógrafo.	9
Figura 1.8: Sistema de sujeción de trabillas.	10
Figura 1.9: Cableado del electrocardiógrafo colgando del carro de transporte: en la izquierda una visión general y a la derecha un detalle del sistema.	11
Figura 1.10: Sistema de armazón para los sensores del electrocardiógrafo. A la izquierda detalle del sistema y a la derecha sobre el paciente.	12
Figura 1.11: Dispositivos individuales para la recogida de los cables	12
Figura 1.12: Mecanismo de trinquete [4].	13
Figura 1.13: Funcionamiento del mecanismo de trinquete [5].	14
Figura 1.14: Sistemas exteriores de trinquete: (a) Mecanismo de trinquete exterior irreversible, (b) Mecanismo de trinquete exterior reversible, (c) Mecanismo de trinquete exterior irreversible con freno de fricción, (d) Mecanismo de trinquete exterior irreversible con bloqueo (Fuente propia).	15
Figura 1.15: Mecanismo de trinquete interior irreversible (Fuente propia).	17
Figura 1.16: Mecanismo de trinquete frontal irreversible (Fuente propia).	17
Figura 1.17: Aspiradora con mecanismo de trinquete; (a) Aspiradora comercial, (b) Ubicación del sistema de recogecables, (c) Dispositivo de recogida de cables con detalle del gatillo, (d) Conexión eléctrica.	19
Figura 1.18: Ratón de ordenador.	19
Figura 1.19: Sistema de trinquete de un cinturón de seguridad [5].	20
Figura 1.20: Sistema recogida en una cinta métrica retráctil [6].	21
Figura 1.21: Soporte y mecanismos individuales.	25
Figura 1.22: Piezas diseñadas en el prototipo 1.	25
Figura 1.23: Croquis de la rueda dentada del trinquete con el sistema para almacenar el cable.	26
Figura 1.24: Croquis del gatillo.	26

Figura 1.25: Croquis del resorte de tensión constante. ....	27
Figura 1.26: Croquis del mecanismo del eje del mecanismo. ....	27
Figura 1.27: Croquis de la carcasa. ....	27
Figura 1.28: Croquis del resorte del gatillo.....	28
Figura 1.29: Croquis de los tipos de enrollamientos analizados. ....	29
Figura 1.30: Diseño y croquis de cilindros de arrollamiento del cable.....	30
Figura 1.31: Diseño de trinquete. ....	31
Figura 1.32: Diseño de trinquete. ....	31
Figura 1.33: Croquis y diseño de trinquete con eje del gatillo.....	32
Figura 1.34: Diseño del primer gatillo. ....	32
Figura 1.35: Ensayo para determinar la fuerza necesaria.....	33
Figura 1.36: Diseño y croquis de la tapa interior con chavetas.....	34
Figura 1.37: Croquis de los chaveteros. ....	34
Figura 1.38: Ensamblaje del primer prototipo. ....	35
Figura 1.39: Diseño de la modificación de la pieza 1. ....	36
Figura 1.40: Diseño de la modificación del gatillo. ....	36
Figura 1.41: Diseño del eje roscado. ....	37
Figura 1.42: Diseño de la carcasa externa.....	37
Figura 1.43: Croquis del resorte del gatillo.....	38
Figura 1.44: Croquis del resorte del gatillo y su ubicación en el dispositivo. ....	38
Figura 1.45: Diseño del resorte de recuperación.....	39
Figura 1.46: Ensamblaje del modelo 2.....	39
Figura 1.47: Nuevo croquis del soporte para los sistemas de recogida de cables.....	40
Figura 1.48: Diseño de la pieza 1 del prototipo 3. ....	41
Figura 1.49: Diseño del gatillo del modelo 3. ....	41
Figura 1.50: Comprobación de momento positivo en el gatillo.....	42
Figura 1.51: Diseño de la carcasa.....	42
Figura 1.52: Diseño del resorte de recuperación del gatillo.....	43
Figura 1.53: Diseño de la carcasa exterior. ....	43
Figura 1.54: Ensamblaje del tercer prototipo. ....	44
Figura 1.55: Diseño final de la pieza 1.....	44
Figura 1.56: Diseño final del gatillo.....	45
Figura 1.57: Características del resorte de tensión constante seleccionado. ....	45
Figura 1.58: Diseño final de la carcasa. ....	46

Figura 1.59: Imagen del resorte de torsión.....	46
Figura 1.60: Diseño final de la tapa interior.....	47
Figura 1.61: Diseño final de la tapa de la carcasa.....	47
Figura 1.62: Ensamblaje del prototipo final.....	48

# **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado de Ingeniería Mecánica

Anexos de cálculo.

**TRABAJO FIN DE GRADO.**

**TÍTULO**

**SISTEMA FIABLE PARA RECOGIDA DE CABLEADO DE  
ELECTROCARDIÓGRAFO**

**AUTORA**

Ana María Galván Torres.

**TUTORA**

Viana Lida Guadalupe Suárez.





## Índice

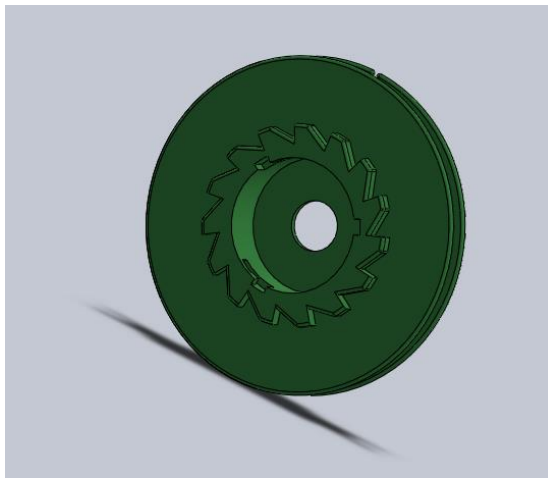
2.	Anexos de cálculo.....	1
2.1.	Cálculos y estudios de la pieza 1 .....	1
2.1.1.	Objeto .....	1
2.1.2.	Cálculo de dimensiones .....	2
2.2.	Cálculos y estudios de pieza 2 .....	3
2.2.1.	Objeto .....	4
2.2.2.	Estudio de gráfico de fuerzas.....	4
2.2.3.	Estudio gráfico de momentos .....	5
2.2.4.	Estudio de tensiones y desplazamientos por elementos finitos con SolidWorks .....	7
2.3.	Cálculos y estudios de la pieza 3 .....	14
2.3.1.	Objeto .....	15
2.3.2.	Ensayo de fuerzas .....	15
2.3.3.	Elección de resorte de tensión constante .....	15
2.4.	Cálculos y estudios de la pieza 4 y 5 .....	16
2.4.1.	Estudio de tensiones y desplazamientos por elementos finitos con SolidWorks .....	17
2.5.	Cálculos y estudios de la pieza 6 .....	24
2.5.2.	Estudio de resorte de lámina.....	25
2.5.3.	Estudio de tensiones y desplazamientos por elementos finitos con SolidWorks del resorte de lámina.....	25
2.5.4.	Elección del resorte de torsión de catálogo .....	30
2.6.	Cálculos y estudios de la pieza 7 .....	33
2.7.	Cálculos y estudios de la pieza 7 .....	33
2.8.	Listado de figuras.....	34
2.9.	Listado de tablas .....	36



## 2. Anexos de cálculo

Los estudios y cálculos se realizaron de cada pieza por separado, puesto que el estudio del conjunto con el programa de elementos finitos SolidWorks, nos requeriría una malla tridimensional que sobrepasaría la capacidad de memoria del ordenador utilizado para los cálculos. La elección del análisis por piezas nos permite crear una malla más fina en los puntos problemáticos, que al ser un modelo tan comprimido son puntos milimétricos.

### 2.1. Cálculos y estudios de la pieza 1



**Figura 2.1:** Modelo de la pieza 1.

#### 2.1.1. Objeto

La pieza de trinquete o pieza 1 no está sometida a grandes tensiones y es una pieza de gran solidez. Los cálculos que se han realizados son los necesarios para determinar sus dimensiones.

### 2.1.2. Cálculo de dimensiones

Las dimensiones de la pieza vienen determinadas por el radio de curvatura máximo permitido en los cables. Se ha tomado como referencia la norma UNE 21021.

	Para un diámetro del cable (mm)			
	$D \leq 8$	$8 \leq D \leq 12$	$12 \leq D \leq 20$	$D > 20$
<b>Instalación fija</b>	3D	3D	4D	4D
<b>Libre movimiento</b>	5D	5D	6D	6D
<b>A la entrada de un aparato o de un equipo móvil sin esfuerzo mecánico sobre el cable</b>	5D	5D	6D	6D
<b>Con esfuerzo mecánico</b>	9D	9D 6D	9D	10D
<b>En festón, como en las grúas pórtico</b>	10D	10D	11D	12D
<b>Enrollamiento repetido</b>	7D	7D	8D	8D
<b>Desviado por poleas</b>	10D	10D	10D	10D

**Tabla 2.1:** Radios máximos de curvatura para cables unipolares según la norma UNE 21021.

El radio de curvatura mínimo en nuestro caso sería 7D. Como los cables que tenemos son de 2 mm el resultado sería que el radio de curvatura mínimo: 14mm.

Como se explicó en la memoria descriptiva se escogió un radio mayor por motivos de seguridad y para poder alojar en el interior el resorte de tensión constante.

El radio pequeño del trinquete finalmente elegido fue de 22 mm.

El radio grande del trinquete se determinó para que el tamaño del dispositivo no fuera excesivo y teniendo en cuenta la longitud del cable a recoger en función del número de vueltas a dar por el dispositivo. En este caso nos interesa la mayor diferencia posible entre los dos radios para desperdiciar la menor parte posible de cable. Se realizó el cálculo de la longitud del cable que se enrolla en cada cilindro del trinquete en función del número de vueltas que da el trinquete con la siguiente fórmula, basada en el perímetro de un círculo.

$$L = 2 * \pi * r * nz \quad (2.1)$$

Donde:

- L es longitud.
- r es el radio del cilindro
- n es el número de vueltas

Radio de los cilindros, r (cm)	Longitudes del cable enrollado (cm)				
	Número de vueltas, n				
	3	4	5	5,5	6
<b>2,0</b>	37,7	50,3	62,8	69,1	75,4
<b>2,2</b>	41,5	55,3	69,1	76,0	82,9
<b>2,5</b>	47,1	62,8	78,5	86,4	94,2
<b>4,0</b>	75,4	100,5	125,7	138,2	150,8

**Tabla 2.2:** Radios de los cilindros según las longitudes del cable enrollado.

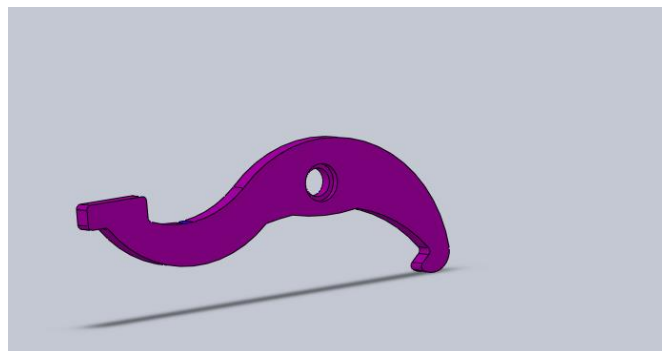
Con estos resultados podemos decir el número de vueltas que necesitará dar el trinquete con los radios escogidos de 22 mm y 40 mm y la longitud útil del cable.

Longitud del cable (cm)	n	Longitud útil del cable (cm)
<b>150</b>	4	100,5
<b>200</b>	5,5	138,2

**Tabla 2.3:** Longitud y longitud útil del cable.

Estas longitudes son suficientes para que el cable llegue a muñecas, tobillos y pecho de una persona de hasta 2 m de altitud como mínimo.

## 2.2. Cálculos y estudios de pieza 2



**Figura 2.2:** Modelo de la pieza 2.

### 2.2.1. Objeto

El gatillo es una de las piezas críticas del diseño por estar sometida a grandes tensiones. Se realizó un análisis del momento, a groso modo, para determinar que el momento que se generaba era positivo y por tanto ayudaba al contacto entre el gatillo y el trinquete. Las fuerzas ejercidas se analizaron gráficamente para elegir un gatillo que trabajara a tracción en vez de a compresión, como se explicó en la memoria descriptiva.

Los análisis de tensiones y desplazamientos de esta pieza en varias de sus versiones se realizaron con el programa de análisis por elementos finitos SolidWorks con estudios estáticos.

### 2.2.2. Estudio de gráfico de fuerzas

Las fuerzas que aparecen cuando el gatillo está en posición de reposo, es decir, cuando actúa como freno, es conveniente que sean de tracción en vez de compresión sobre el gatillo. Siempre es más crítico y hay que estudiar más detalladamente el trabajo a compresión, porque en piezas esbeltas pueden aparecer fenómenos de pandeo.

En esta primera versión del gatillo vemos como este trabaja a compresión.



**Figura 2.3:** Funcionamiento de la primera versión del gatillo, trabajando a compresión.

En las versiones sucesivas así como en la definitiva el gatillo trabaja a tracción como se muestra en las siguientes imágenes.



**Figura 2.4:** Funcionamiento del gatillo del prototipo 2, trabajando a tracción.



**Figura 2.5:** Funcionamiento del gatillo en el prototipo 3, trabajando a tracción.

### 2.2.3. Estudio gráfico de momentos

Las fuerzas existentes cuando el gatillo está en su posición de reposo, cuando no lo están pulsando y por tanto actúa de freno, generan un momento en el gatillo. El momento generado tenemos que garantizar que sea positivo, porque si es negativo este momento tendería a separar el gatillo del trinquete, disminuyendo su función. El momento positivo por el contrario refuerza el contacto entre gatillo y trinquete. El gatillo se fue modificando para garantizar el momento positivo en las versiones analizadas.



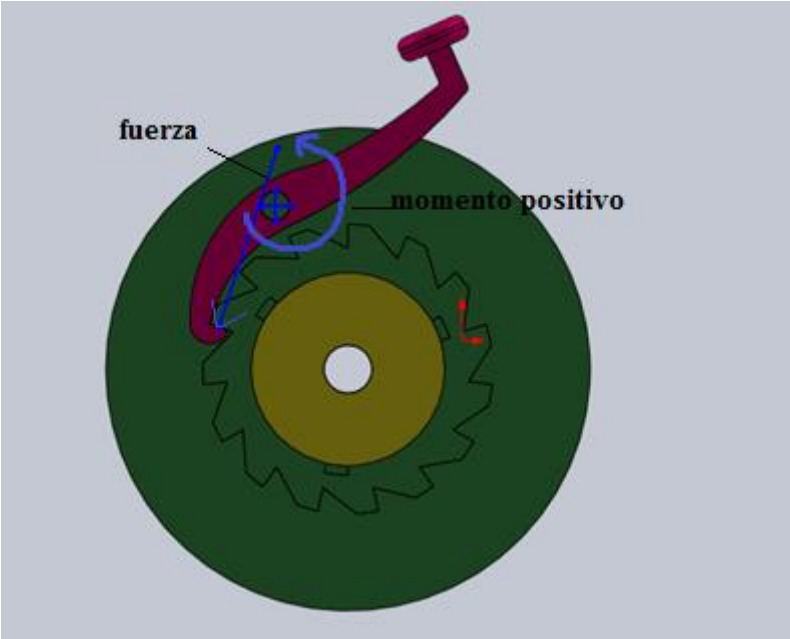


Figura 2.6: Momento positivo del gatillo en el prototipo 2.

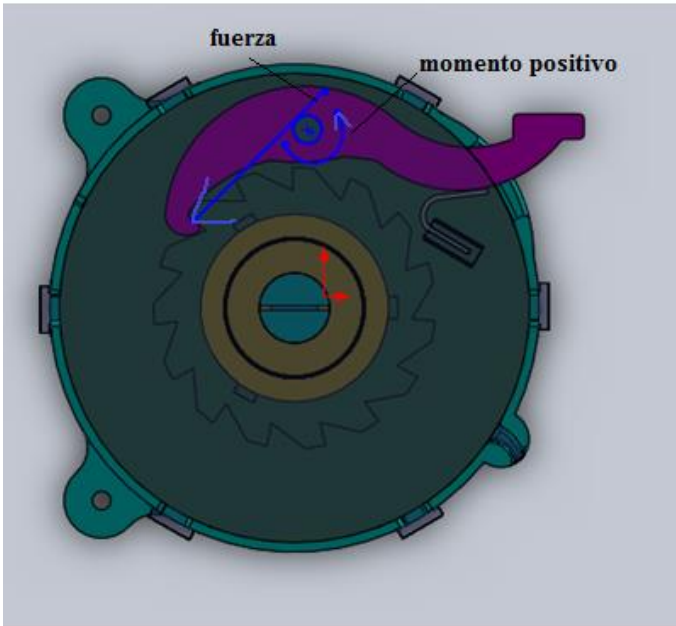


Figura 2.7: Momento positivo del gatillo en el prototipo 3.

## 2.2.4. Estudio de tensiones y desplazamientos por elementos finitos con SolidWorks

### 2.2.4.1. Condiciones del estudio

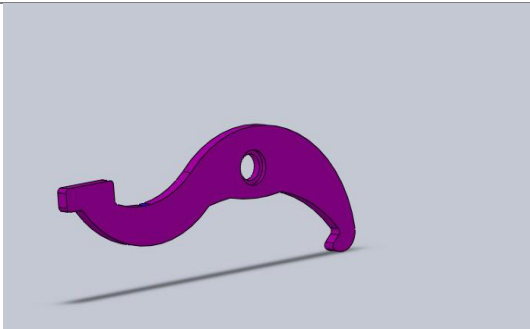
El estudio de tensiones que se realizó es un estudio estático lineal. El estudio proporciona las tensiones de Von Mises y los desplazamientos para la pieza estudiada con las condiciones impuestas.

Se cumplen las hipótesis siguientes:

- Pequeñas deformaciones y pequeños desplazamientos.
- No se han considerado los efectos de inercia ni del tiempo.
- El material es homogéneo y de comportamiento isótropo y lineal.

La situación crítica en el gatillo es cuando se encuentra en su posición de reposo, porque actúa sobre él la fuerza generada por el resorte de tensión constante. La fuerza que genera el resorte hace que el trinquete intente girar en sentido antihorario y por tanto choque con el gatillo.

### 2.2.4.2. Descripción de la pieza

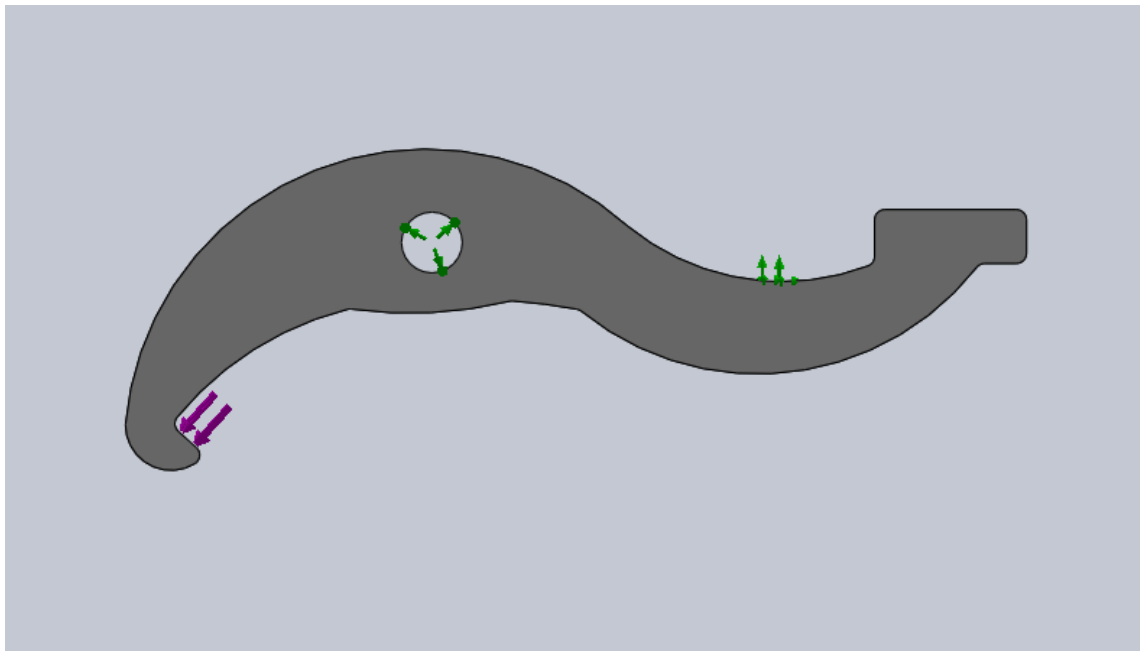
	<b>Material</b>	<b>ABS</b>
	Límite elástico (N/mm <sup>2</sup> )	18,5-51
	Límite de tracción (N/mm <sup>2</sup> )	30

**Tabla 2.4:** Descripción de las propiedades de la pieza del gatillo del prototipo final.

El límite elástico del plástico depende de su temperatura. El programa SolidWorks necesitaría unas curvas de temperatura para comparar las tensiones generadas en la pieza con su límite elástico, al carecer de ellas nos mantendremos siempre en el rango inferior del límite elástico del material.

Como coeficiente de seguridad usaremos  $N=4$ .

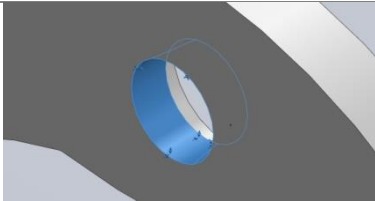
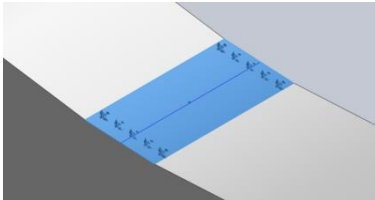
**2.2.4.3. Condiciones de contorno**



**Figura 2.8:** Modelo de la pieza 1.

*Sujeciones*

El gatillo en condiciones de reposo tiene una sujeción tipo bisagra en su eje de giro y una restricción total de movimiento en la zona en la que el gatillo apoya en la carcasa. La siguiente tabla las muestra más detalladamente.

Tipo de sujeción	Detalle de la sujeción	Restricciones de la sujeción	Permitido con sujeción
<b>Tipo bisagra</b>		Traslación en los planos X,Y y Z Rotación en plano X e Y	Rotación en Z
<b>Tipo fija</b>		Traslación en los planos X,Y y Z Rotación en plano X ,Y y Z	Ningún movimiento

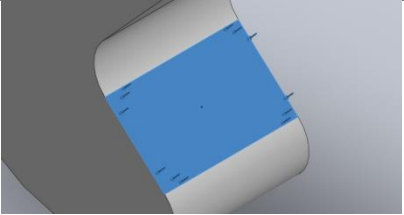
**Tabla 2.5:** Descripción del tipo de sujeción.

*Cargas*

La fuerza aplicada en esta pieza es la que genera el apoyo del diente del trinquete, que a su vez viene dada por el resorte de tensión constante. El resorte de tensión constante elegido genera una fuerza de 1,1 N. La fuerza en el gatillo se calcula a partir del momento generado por la fuerza anterior con la siguiente fórmula.

$$M = F * d \quad (2.2)$$

La fuerza resultante es de 2,2 N. Se aplicará en el modelo una fuerza normal a la superficie como se indica en la siguiente tabla.

Valor de la fuerza (N)	Localización
2,2	

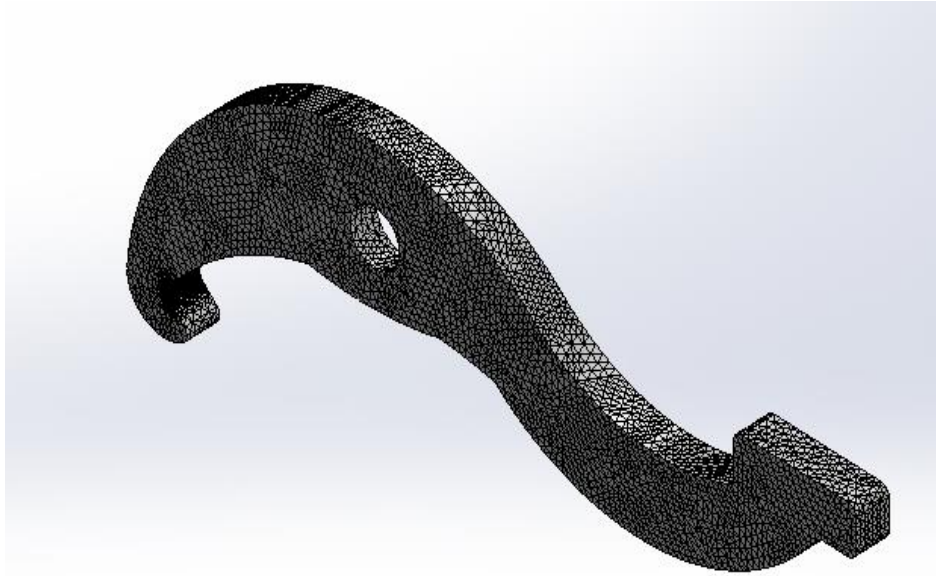
**Tabla 2.6:** Descripción de las cargas aplicadas.

**2.2.4.4. Mallado**

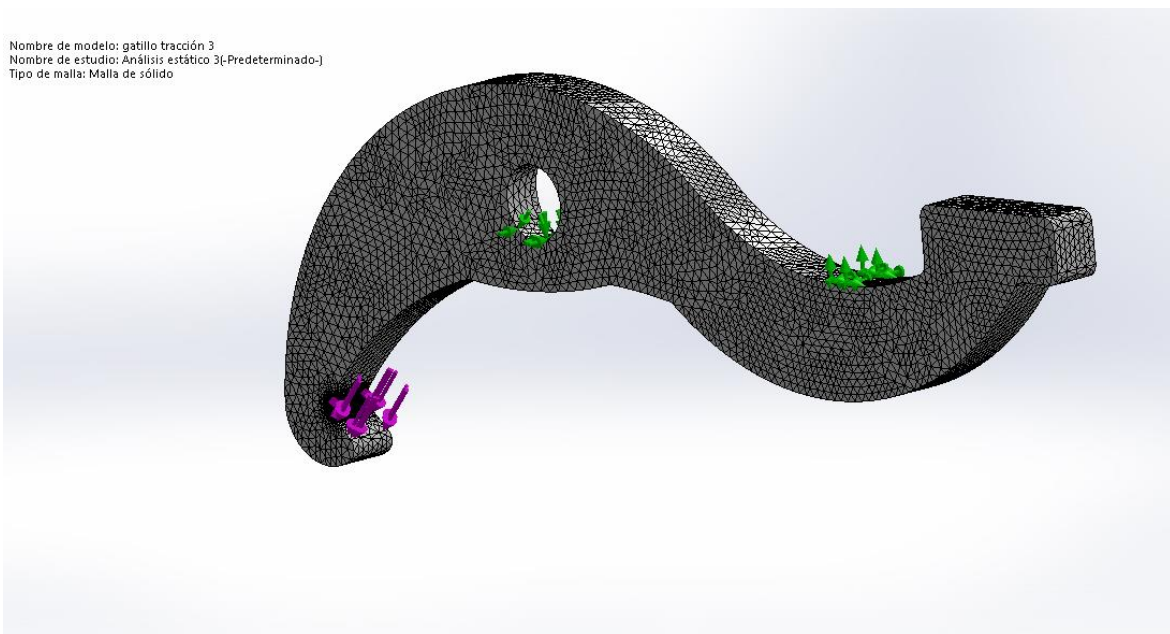
Se aplica una malla fina con las características que se muestran en la siguiente tabla.

<b>Número total de nodos</b>	150824
<b>Número total de elementos</b>	100764
<b>Tamaño máximo de elementos (mm)</b>	0.802357
<b>Tamaño mínimo del elemento (mm)</b>	0.26745
<b>Calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

**Tabla 2.7:** Descripción de las características de la malla aplicada.

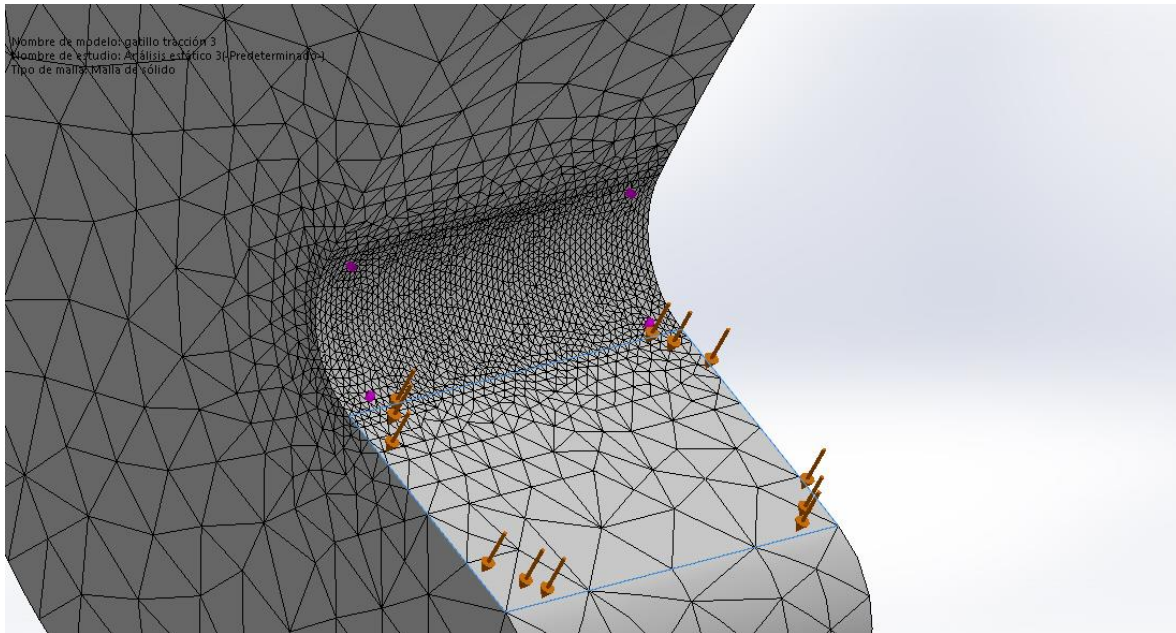


**Figura 2.9:** Malla del modelo del gatillo.



**Figura 2.10:** Malla del modelo del gatillo con detalle de las fuerzas y sujeciones.

En los puntos sometidos a mayor tensión, en la curva cercana a la aplicación de la fuerza, se ha realizado un control de mallado para hacer la malla de la zona mucho más fina, como se observa en la siguiente figura.



**Figura 2.11:** Detalle del control de mallado.

#### 2.2.4.5. Resultados del estudio

##### *Fuerzas de reacción*

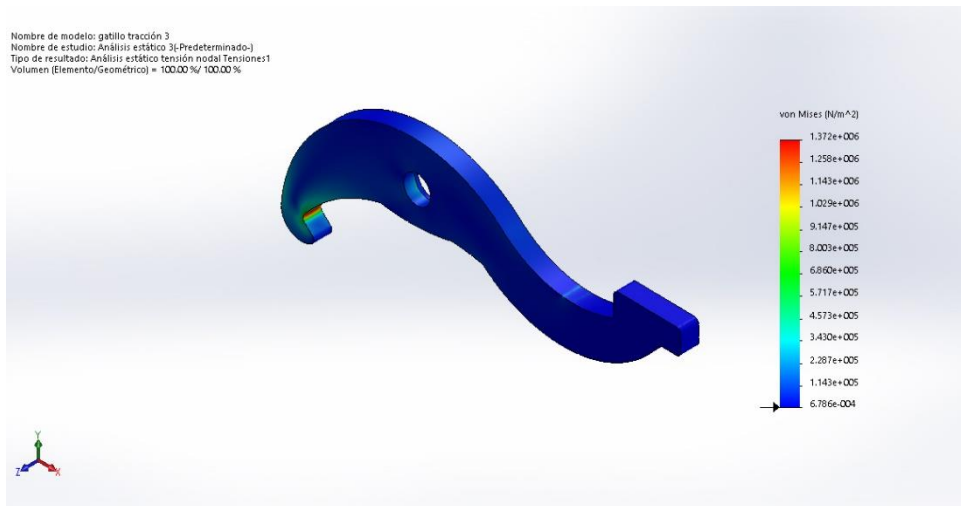
Eje X (N)	Eje Y (N)	Eje Z (N)	Resultante (N)
1.472	1.63482	-1.05005e-005	2.19987

**Tabla 2.8:** Fuerzas de reacción

##### *Tensiones de Von Mises de la pieza*

Nombre	Máx.
Tensión	1.37198e+006 N/m <sup>2</sup>

**Tabla 2.9:** Tensión máxima de Von Mises.

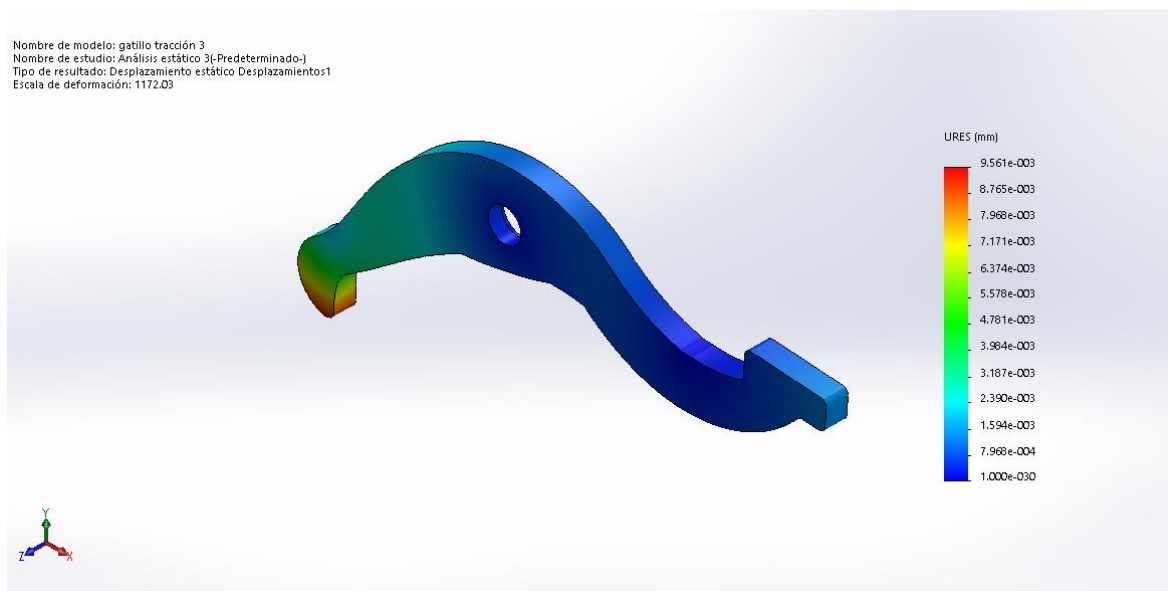


**Figura 2.12:** Tensiones de Von Mises en el gatillo.

*Desplazamientos en la pieza*

Nombre	Máx.
Desplazamiento	0.00956148 mm

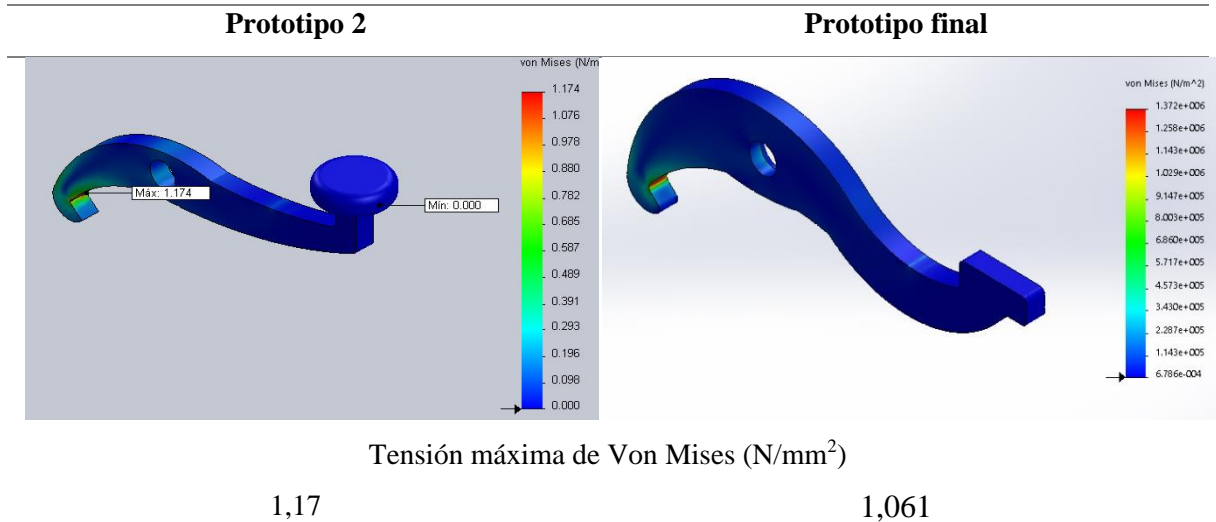
**Tabla 2.10:** Desplazamiento máximo.



**Figura 2.13:** Desplazamientos.

**2.2.4.6. Comparativa con estudio de la pieza de prototipo 2.**

Esta pieza fue estudiada en prototipos anteriores. Se muestra una comparativa de las tensiones entre el prototipo 2 y el final.



**Tabla 2.11:** Tabla comparativa entre el gatillo del prototipo 2 y el prototipo final

El prototipo final tiene la misma zona de tensión máxima que el prototipo 2, pero las tensiones son ligeramente inferiores, por el redondeo de las aristas. Los dos prototipos cumplen con creces con los requisitos de diseño. En anteriores prototipos se observó unas zonas de concentración de tensiones alrededor del eje, por lo que se aumentó el material en esa zona y desaparecieron.

**2.2.4.7. Análisis de resultados**

Los resultados del estudio nos muestran los valores máximos de la tensión de Von Mises y de los desplazamientos, que se muestran en la siguiente tabla.

<b>Tensión de Von Mises máxima (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Desplazamiento máximo (mm)</b>
1,061	0,0086

**Tabla 2.12:** Tensión máxima de Von Mises y desplazamiento máximo.

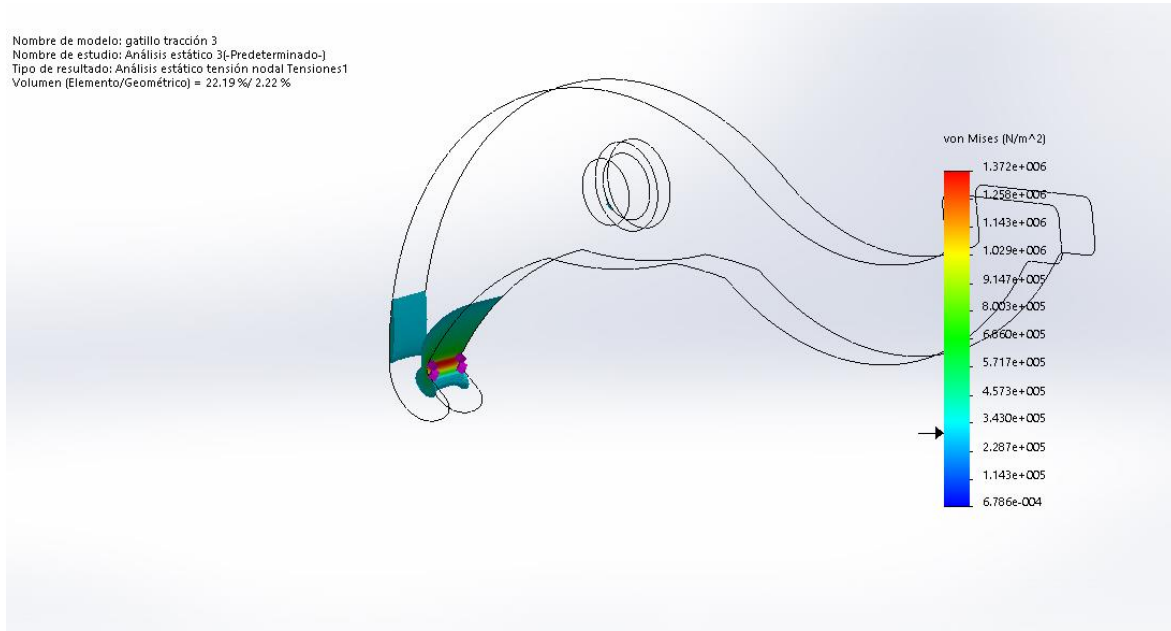
La tensión máxima que se genera con las condiciones del estudio en la pieza está por debajo del límite elástico de la pieza, por lo que la pieza trabaja en el rango elástico del material. La pieza recupera su forma tras ser liberado de las cargas del estudio. Las



tensiones cumplen con el factor de seguridad de N=4 impuesto para el modelo es este proyecto, como se comprueba abajo.

$$N = \frac{\sigma_y}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{18,5 \text{ N/mm}^2}{1,061 \text{ N/mm}^2} = 17,44 \quad (2.3)$$

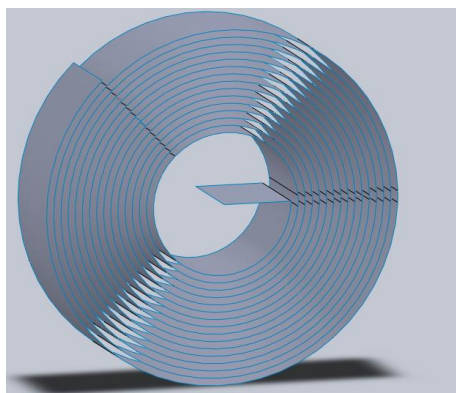
Los puntos en los que se concentran las mayores tensiones son en la curva cercana a la zona de aplicación de la fuerza.



**Figura 2.14:** Detalle de las mayores tensiones registradas en el gatillo.

Los desplazamientos son despreciables puesto que están en el rango de las micras.

### 2.3. Cálculos y estudios de la pieza 3



**Figura 2.15:** Modelo de la pieza 3.

### 2.3.1. Objeto

La fuerza que tiene que desarrollar el resorte de tensión constante para recoger un cable se aproxima con el ensayo del resorte de una cinta métrica.

Las medidas y demás especificaciones se obtienen de un catálogo en función del espacio disponible en el modelo para alojar el resorte y de la fuerza calculada.

### 2.3.2. Ensayo de fuerzas

Se obtiene la fuerza aproximada del resorte de tensión constante aprovechando una cinta métrica con un resorte. En el ensayo se colocan pesos en el extremo, hasta que llegamos al peso con el que se mantiene en equilibrio el resorte.



**Figura 2.16:** Ensayo de las fuerzas del resorte de tensión constante.

El peso con el que se alcanza el equilibrio es de 50 g. La fuerza necesaria sería de 0,5 N, pero por seguridad se duplicará para buscar el resorte de tensión constante del mecanismo.

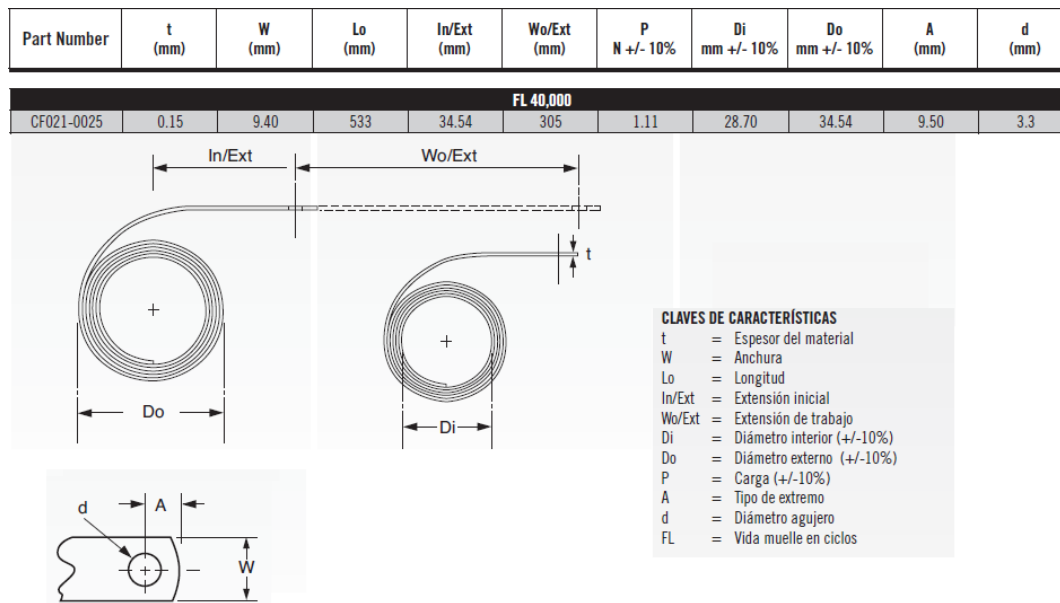
### 2.3.3. Elección de resorte de tensión constante

El resorte de tensión constante se eligió de un catálogo con los siguientes parámetros de búsqueda.

- Alta duración.
- Fuerza mínima de 1N.

- Ancho máximo de la cinta de 1cm.

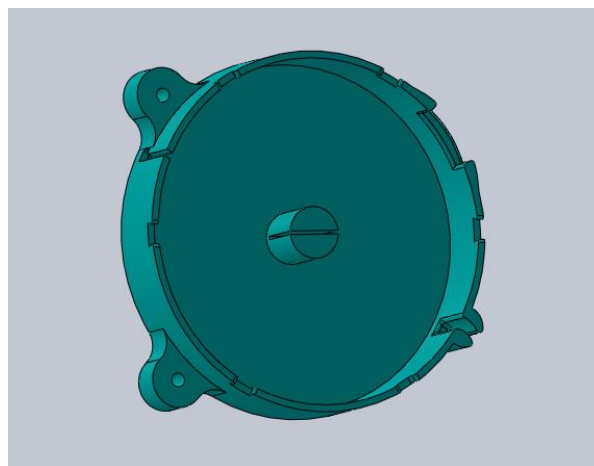
Una vez calculadas las tensiones que ha de soportar el sistema, se ha optado por la adquisición de un resorte de tensión constante del fabricante SPEC, modelo CF021-0025, cuyas especificaciones se detallan a continuación.



**Figura 2.17:** Características del resorte de tensión constante seleccionado.

## 2.4. Cálculos y estudios de la pieza 4 y 5

Las piezas 4 y 5, el eje y la carcasa, forman una sola pieza como se explicó en la memoria descriptiva.



**Figura 2.18:** Modelo del eje y la carcasa.

#### **2.4.1.1. Objeto**

La zona de mayor preocupación en esta pieza es el eje, que al estar partido y tener un par de fuerzas generadas por el resorte en su interior que tienden a abrirlo, puede ser objeto de fallo y rotura. La pieza se sometió a un estudio estático lineal con SolidWorks, para observar las tensiones y los desplazamientos generados.

Se realizó también un estudio dimensional del ensamblaje para garantizar que el gatillo apoyara en la carcasa en su posición de reposo. Este requisito era importante, porque si el gatillo no apoya en la carcasa, se tiende a igualar el momento que se genera en el contacto con el trinquete y se eleva, liberando el trinquete.

### **2.4.1. Estudio de tensiones y desplazamientos por elementos finitos con SolidWorks**

#### **2.4.1.1. Condiciones del estudio**

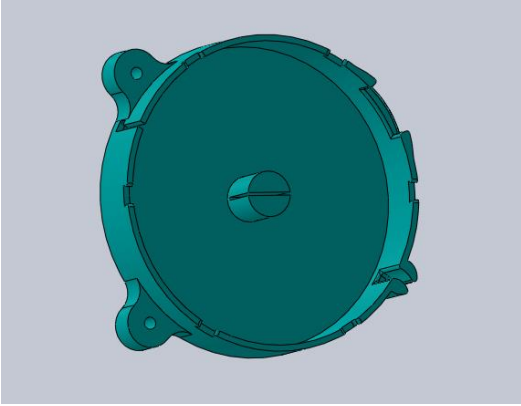
El estudio de tensiones que se realizó es un estudio estático lineal. El estudio proporciona las tensiones de Von Mises y los desplazamientos para la pieza estudiada con las condiciones impuestas.

Se cumplen las hipótesis siguientes:

- Pequeñas deformaciones y pequeños desplazamientos.
- No se han considerado los efectos de inercia ni del tiempo.
- El material es homogéneo y de comportamiento isótropo y lineal.

La carcasa está sometida a las tensiones que genera el momento torsor del resorte de tensión constante. El momento producido tiende a abrir el eje.

### 2.4.1.2. Descripción de la pieza

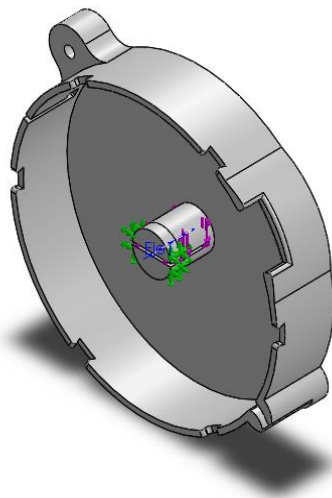
	<b>Material</b>	<b>ABS</b>
	Límite elástico (N/mm <sup>2</sup> )	18,5-51
	Límite de tracción (N/mm <sup>2</sup> )	30

**Tabla 2.13:** Descripción de las propiedades de la pieza 4 y 5.

El límite elástico del plástico depende de su temperatura. El programa SolidWorks necesitaría unas curvas de temperatura para comparar las tensiones generadas en la pieza con su límite elástico, al carecer de ellas nos mantendremos siempre en el rango inferior del límite elástico del material.

El coeficiente de seguridad en esta pieza es  $N=4$ , como en el resto de piezas del mecanismo.

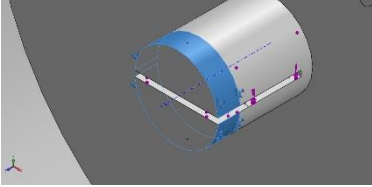
### 2.4.1.1. Condiciones de contorno



**Figura 2.19:** Modelo de la pieza 4 y 5 con las sujeciones y fuerzas aplicadas.

### Sujeciones

Las sujeciones en esta pieza las imponen las dos tapas que envuelven el eje, por un lado la tapa interna y por otro la de la carcasa. La aplicación se realiza con una partición del eje a la altura de inserción de las tapas. Las sujeciones son fijas y se detallan en la siguiente tabla.

Tipo de sujeción	Detalle de la sujeción	Restricciones de la sujeción	Permitido con sujeción
<b>Tipo fija</b>		Traslación en los planos X,Y y Z Rotación en plano X ,Y y Z	Ningún movimiento

**Tabla 2.14:** Descripción de las sujeciones aplicadas al estudio de la pieza 4 y 5.

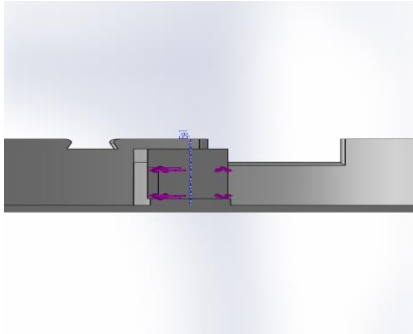
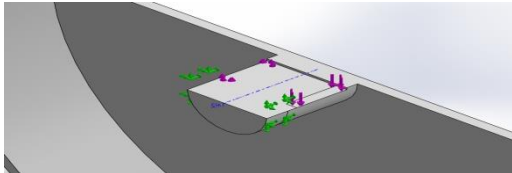
### Cargas

Las cargas se han calculado a partir del momento torsor máximo del resorte, con la siguiente fórmula.

$$F = \frac{M_{t \max}}{d} \quad (2.4)$$

Las fuerzas a aplicar son de 2,94 N, por lo que redondeamos a 3N.

Se aplicaran un par de fuerzas en la zona interna del eje, en dos regiones creadas en extremos contrapuestos.

Valor de la fuerza (N)	Localización
3	
3	

**Tabla 2.15:** Descripción de las fuerzas aplicadas en estudio de la pieza 4 y 5.

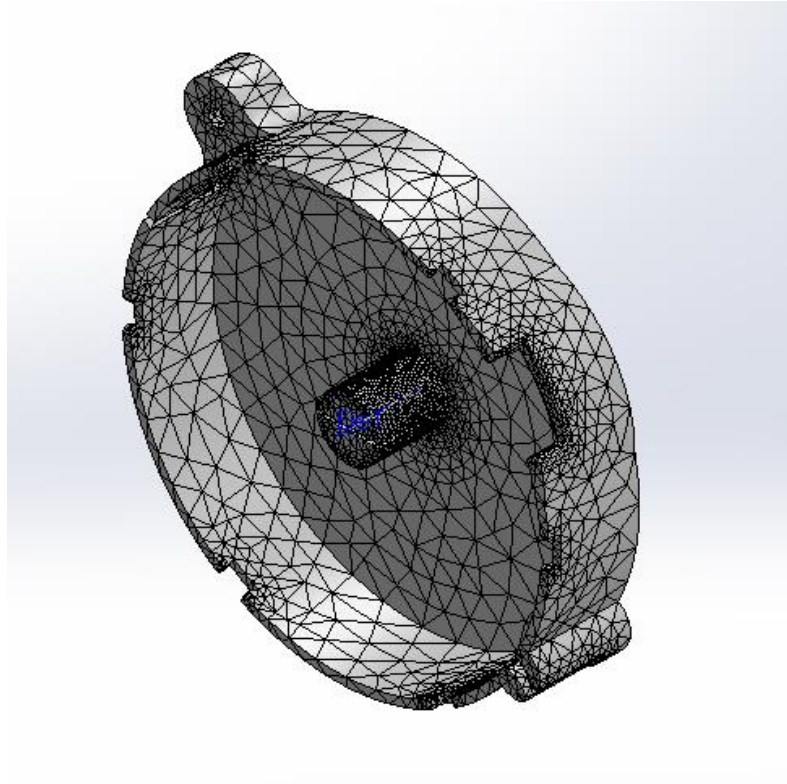
#### 2.4.1.1. Mallado

Se aplica una malla fina y un control de mallado en el eje.

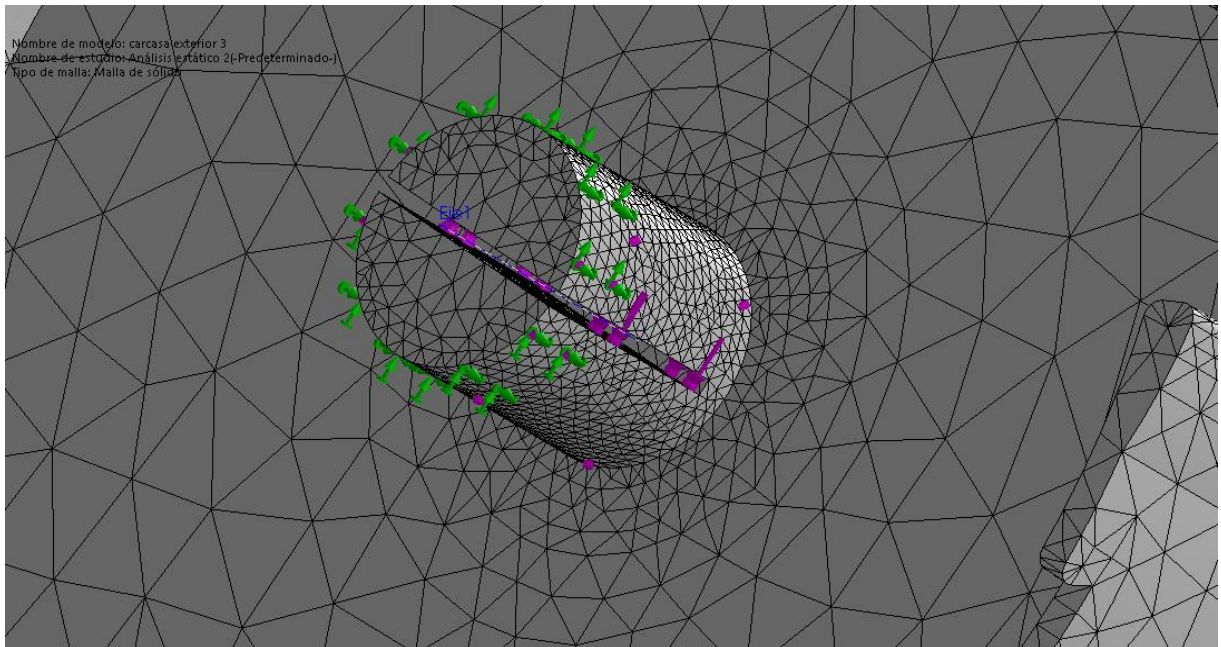
En la siguiente tabla se muestran las características de la malla.

<b>Número total de nodos</b>	39509
<b>Número total de elementos</b>	23307
<b>Tamaño de elementos (mm)</b>	0.910998

**Tabla 2.16:** Características de la malla aplicada en estudio de la pieza 4 y 5.



**Figura 2.20:** Malla aplicada para el estudio de las piezas 4 y 5.



**Figura 2.21:** Detalle del control de mallado en el eje.



### 2.4.1.1. Resultados del estudio

#### Fuerzas de reacción

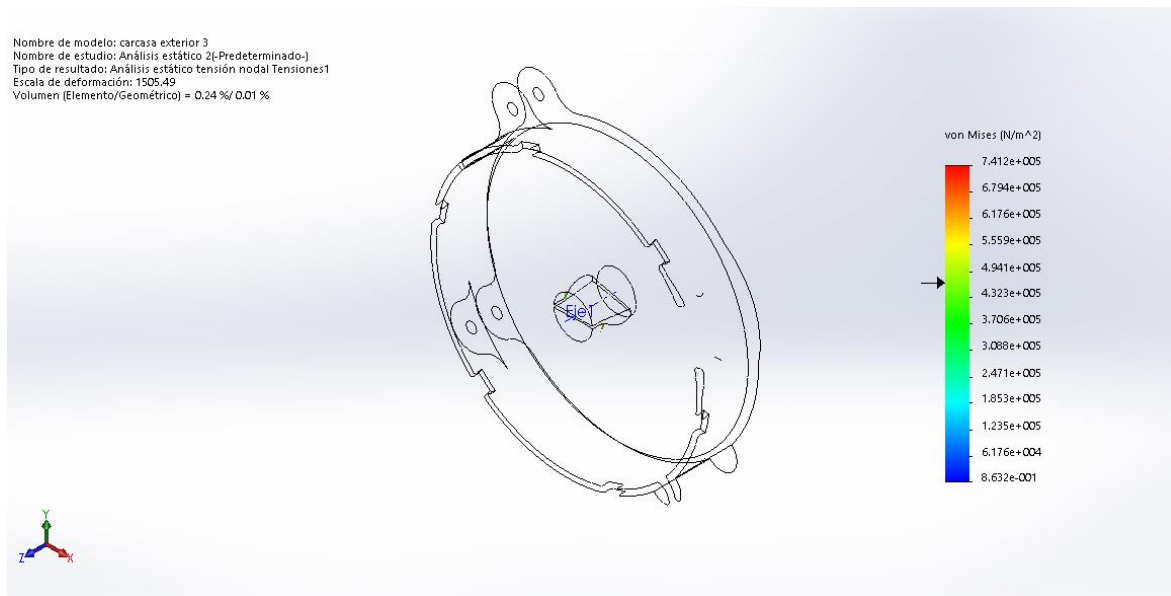
Eje X (N)	Eje Y (N)	Eje Z (N)	Resultante(N)
2.02167e-005	9.39164e-006	2.3215e-005	3.21846e-005

**Tabla 2.17:** Fuerzas de reacción obtenidas en el estudio de la pieza 4 y 5.

#### Tensiones de Von Mises de la pieza

Nombre	Máx.
Tensión	741156 N/m <sup>2</sup>

**Tabla 2.18:** Tensión máxima de Von Mises obtenida en el estudio de la pieza 4 y 5.

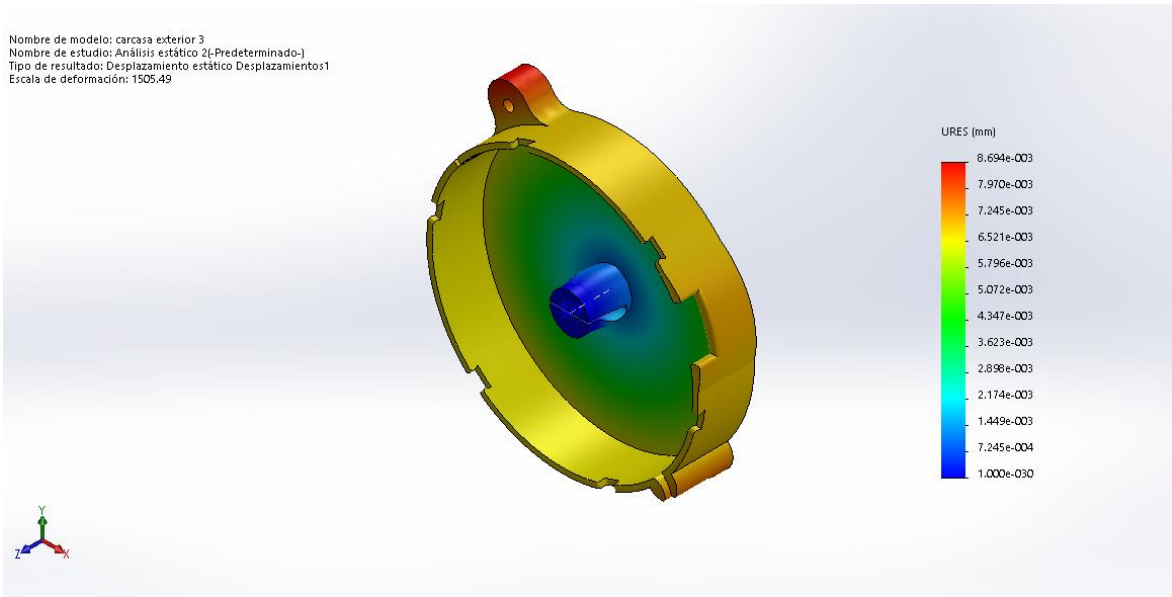


**Figura 2.22:** Tensión máxima de Von Mises obtenida en el estudio de la pieza 4 y 5.

#### Desplazamientos en la pieza

Nombre	Máx.
Desplazamiento	0.0086944 mm

**Tabla 2.19:** Desplazamiento máximo obtenido en el estudio de la pieza 4 y 5.



**Figura 2.23:** Desplazamientos obtenidos en el estudio de la pieza 4 y 5.

#### 2.4.1.1. Análisis de resultados

Los resultados del estudio nos muestran los valores máximos de la tensión de Von Mises y de los desplazamientos, que se muestran en la siguiente tabla.

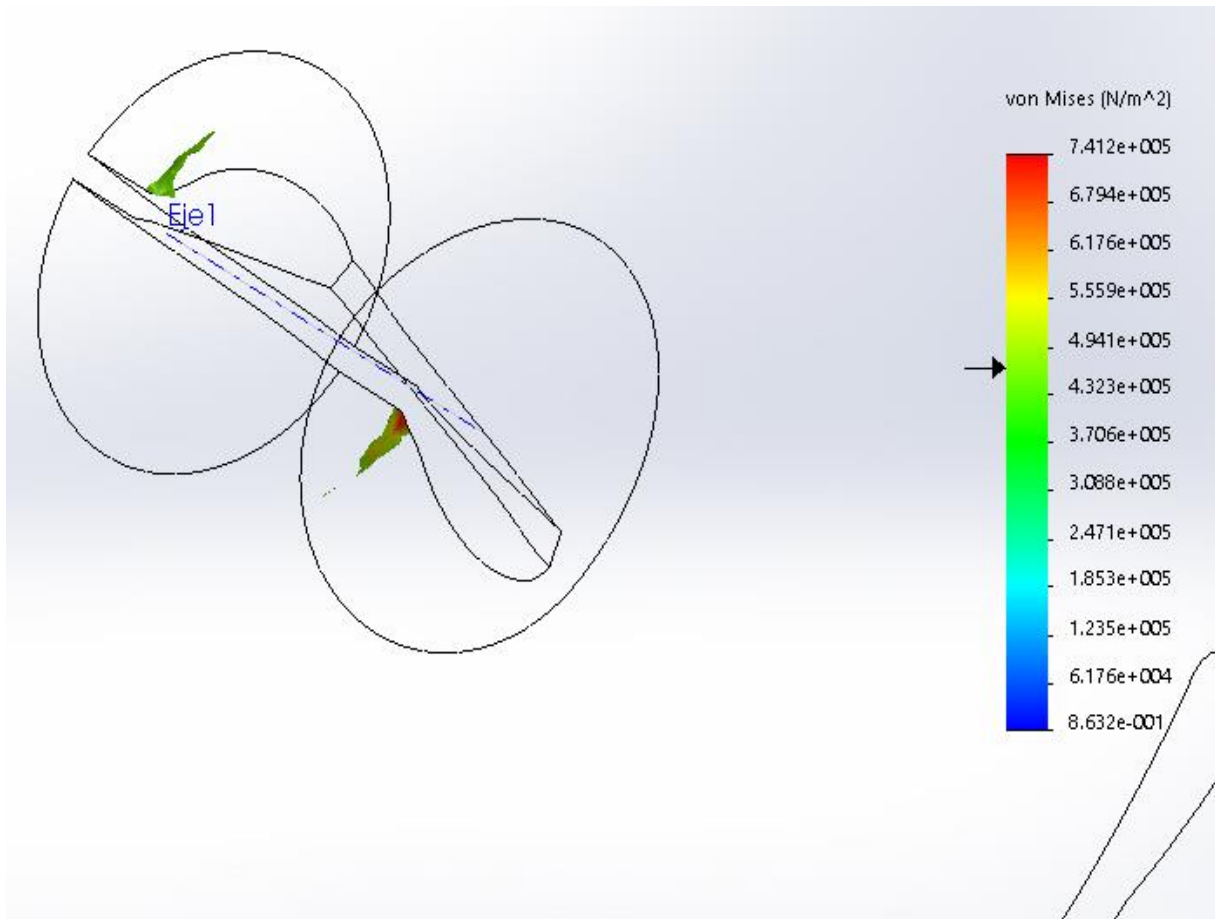
Tensión de Von Mises máxima (N/mm <sup>2</sup> )	Desplazamiento máximo (mm)
0,74	0.0087

**Tabla 2.20:** Tensión máxima de Von Mises y desplazamiento máximo.

La tensión máxima que se genera con las condiciones del estudio en la pieza está por debajo del límite elástico de la pieza, por lo que la pieza trabaja en el rango elástico del material. La pieza recupera su forma tras ser liberado de las cargas del estudio. Las tensiones cumplen con el factor de seguridad de N=4 impuesto para el modelo es este proyecto, como se comprueba abajo.

$$N = \frac{\sigma_y}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{18,5 \text{ N/mm}^2}{0,74 \text{ N/mm}^2} = 25 \quad (2.5)$$

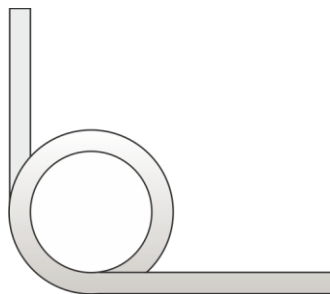
Los puntos en los que se generan las mayores tensiones son los de los extremos donde se aplican las fuerzas, justo en la zona de contacto entre piezas, como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 2.24:** Puntos donde se generan las mayores tensiones.

Las fuerzas en esta pieza generan unos desplazamientos despreciables, del orden de las micras.

## 2.5. Cálculos y estudios de la pieza 6



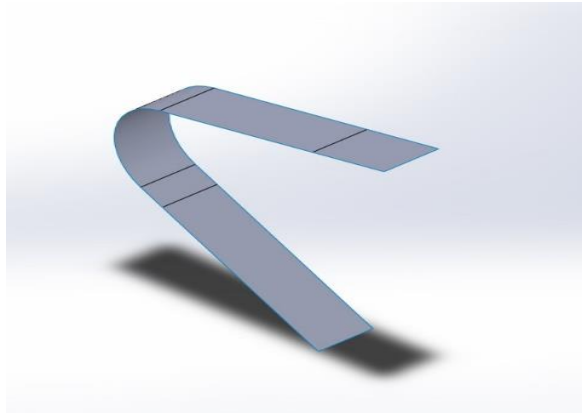
**Figura 2.25:** Imagen del resorte de tensión constante.

### 2.5.1.1. Objeto

La pieza 6, el resorte de recuperación del gatillo se diseñó en un principio como un resorte de lámina, pero tras diversos diseños y estudios, no se encontró la solución en esta versión que cumpliera los requisitos del mecanismo, por lo que se optó por cambiar el diseño del mecanismo para emplear un resorte de torsión. El resorte de torsión se eligió de un catálogo de fabricantes.

El estudio del resorte de lámina se realizó con el programa de elementos finitos SolidWorks, con un estudio de grandes desplazamientos.

### 2.5.2. Estudio de resorte de lámina



**Figura 2.26:** Modelo de resorte de lámina.

### 2.5.3. Estudio de tensiones y desplazamientos por elementos finitos con SolidWorks del resorte de lámina

#### 2.5.3.1. Condiciones del estudio

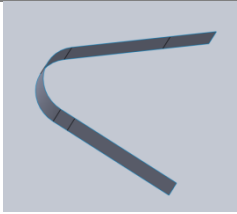
El estudio de tensiones que se realizó es un estudio no lineal en una superficie determinando se espesor. El estudio proporciona las tensiones de Von Mises y los desplazamientos para la pieza estudiada con las condiciones impuestas.

Se cumplen las hipótesis siguientes:

- Pequeñas deformaciones.
- La carga es normal a la superficie en cada momento.

La situación a estudiar es cuando se pulsa el gatillo para liberar el trinquete y que este gire libremente. En esta situación, al resorte de liberación del gatillo, se le somete a la fuerza ejercida por la presión de un dedo. Se muestran los resultados del estudio más favorable de los realizados.

### 2.5.3.2. Descripción de la pieza

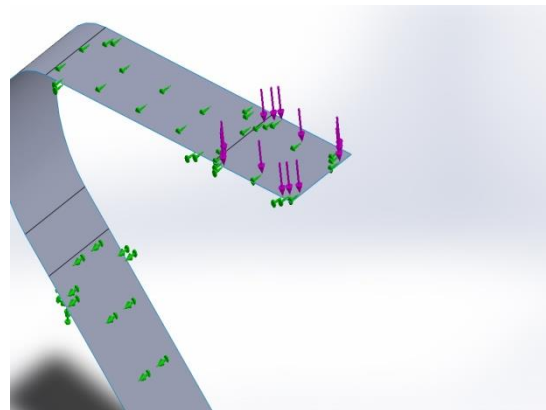
	Material	Acero aleado (SS)
	Límite elástico( N/mm <sup>2</sup> )	620,42
	Límite de tracción (N/mm <sup>2</sup> )	723,82
	Espesor (mm)	0,2

**Tabla 2.21:** Características del resorte de lámina.

La pieza debería trabajar en la zona elástica del material, porque al ser un resorte, no se recuperaría su forma, y por tanto no funcionaría, si plastifica.

Como coeficiente de seguridad usaremos  $N=4$ .

### 2.5.3.3. Condiciones de contorno



**Figura 2.27:** Condiciones de contorno en el estudio del resorte de lámina.

#### *Sujeciones*

El resorte se estudió primero con sólo la restricción impuesta del sitio de anclaje, pero como las tensiones eran excesivas, se intentaron disminuir poniendo un tope al desplazamiento del resorte. El tope permitiría que el resorte se desplazara lo suficiente para permitir la liberación del gatillo, para simular esto se impuso al resorte una limitación avanzada en la rotación con respecto al codo del resorte.

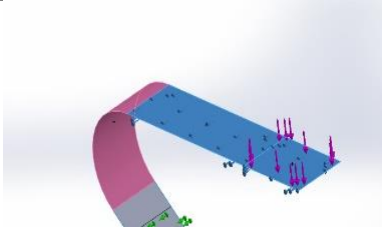
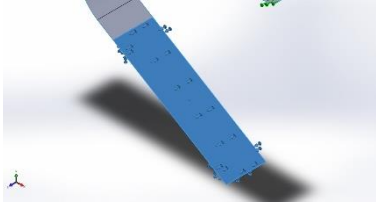
Tipo de sujeción	Detalle de la sujeción	Restricciones de la sujeción	Permitido con sujeción
Tipo geometría de referencia		Rotación en plano Z máxima de 0,541 rad	Rotación en X e Y Traslación en los planos X,Y y Z
Tipo fija		Traslación en los planos X,Y y Z Rotación en plano X ,Y y Z	Ningún movimiento

Tabla 2.22: Tipos de sujeciones en el estudio del resorte de lámina.

### Cargas

La fuerza que liberara al gatillo se decidió que fuera de 1N, 100 g de masa, para que no se tuviera que ejercer una presión excesiva en el gatillo para la liberación. Se aplicará en el modelo una fuerza normal a la superficie como se indica en la siguiente tabla.

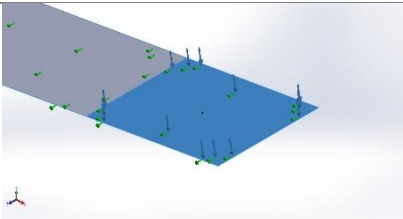
Valor de la fuerza (N)	Localización
1	

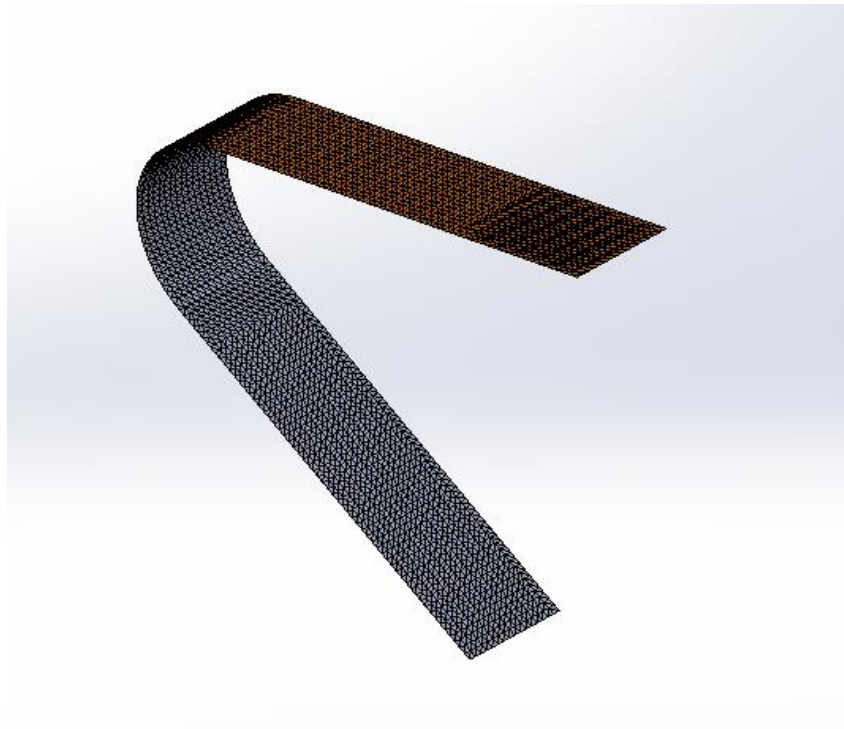
Tabla 2.23: Cargas aplicadas en el estudio del resorte de lámina.

### 2.5.3.4. Mallado

Se aplica una malla fina con las características que se muestran en la siguiente tabla.

Número total de nodos	10551
Número total de elementos	5096
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Intervalos de tiempo	67

Tabla 2.24: Características del mallado en el estudio del resorte de lámina



**Figura 2.28:** Mallado del resorte de lámina.

### 2.5.3.5. Resultados del estudio

#### *Fuerzas de reacción*

<b>Eje X (N)</b>	<b>Eje Y (N)</b>	<b>Eje Z (N)</b>	<b>Resultante(N)</b>
<b>-0.00166806</b>	0.00985988	4.65661e-010	0.009999999

**Tabla 2.25:** Fuerzas de reacción del estudio de resorte de lámina.

#### *Momentos de reacción*

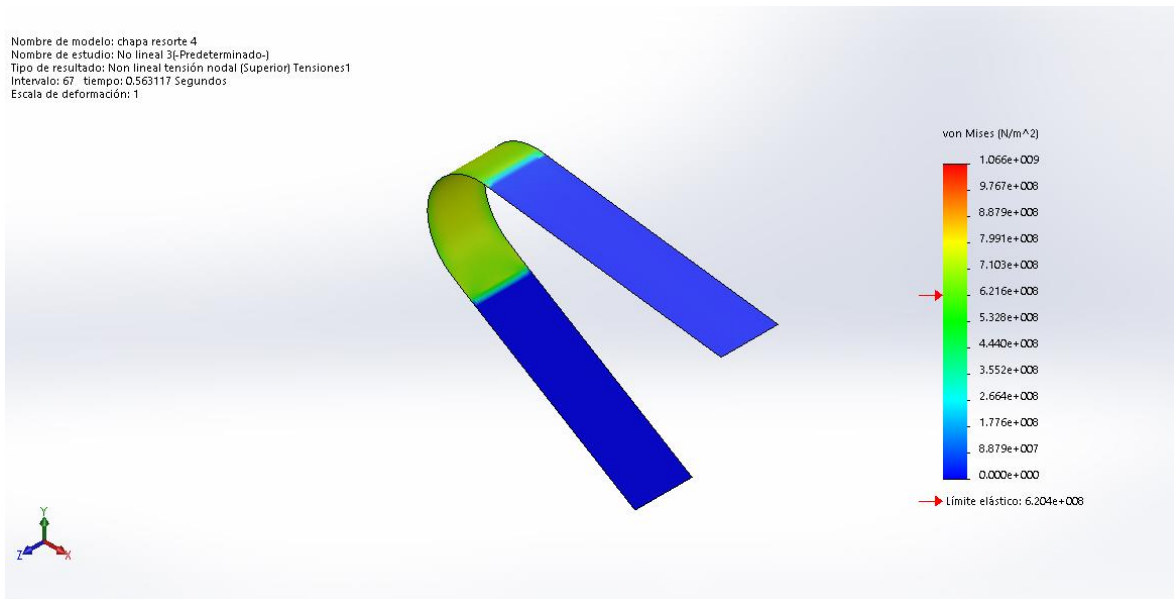
<b>Eje X (N*m)</b>	<b>Eje Y (N*m)</b>	<b>Eje Z (N*m)</b>	<b>Resultante(N*m)</b>
5.42037e-007	-3.40528e-007	0.000114001	0.000114003

**Tabla 2.26:** Momentos de reacción del estudio de resorte de lámina.

#### *Tensiones de Von Mises de la pieza*

<b>Nombre</b>	<b>Máx.</b>
Tensión	1.06552e+009 N/m <sup>2</sup>

**Tabla 2.27:** Tensión máxima de Von Mises obtenida en el estudio de resorte de lámina.

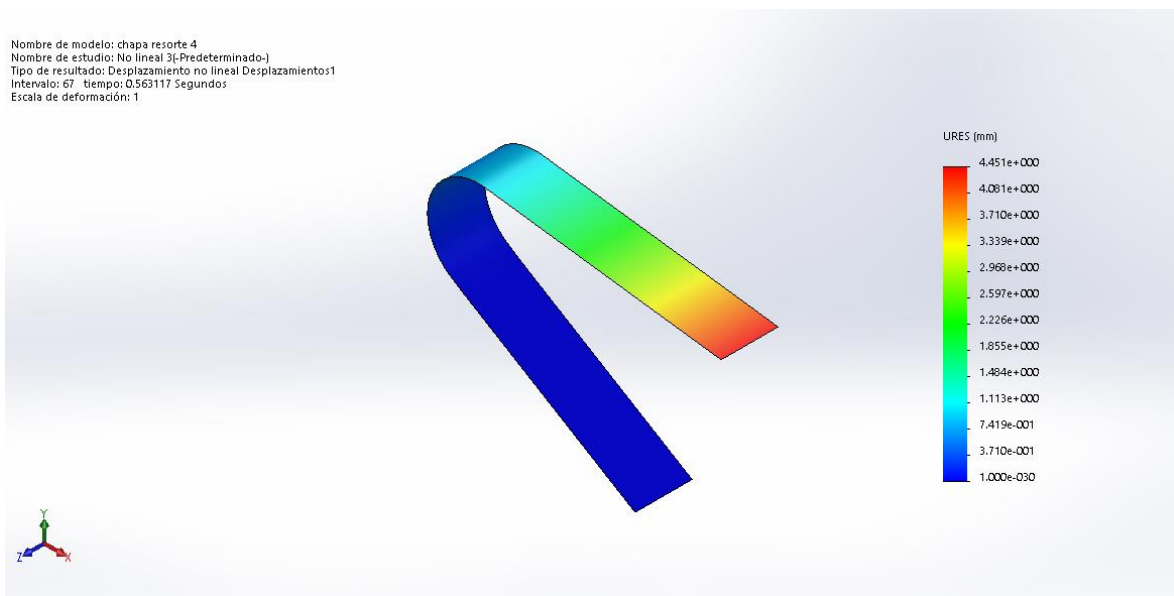


**Figura 2.29:** Resultados de las tensiones de Von Mises obtenidas en el estudio de resorte de lámina.

*Desplazamientos en la pieza*

Nombre	Máx.
Desplazamiento	4.45148 mm

**Tabla 2.28:** Desplazamiento máximo obtenido en el estudio de resorte de lámina.



**Figura 2.30:** Desplazamientos obtenidos en el estudio de resorte de lámina.



### 2.5.3.1. Análisis de resultados

Los resultados del estudio nos muestran los valores máximos de la tensión de Von Mises y de los desplazamientos, que se muestran en la siguiente tabla.

Tensión de Von Mises máxima (N/mm <sup>2</sup> )	Desplazamiento máximo (mm)
1065,52	4.45

**Tabla 2.29:** Resultados obtenidos en el estudio de resorte de lámina.

La tensión máxima que se genera con las condiciones del estudio en la pieza está por encima del límite elástico del material, por lo que plastificaría la pieza. Las mayores tensiones se encuentran en el codo, al estar limitado el movimiento del resorte por un tope. El tamaño del mecanismo no nos permite hacer el resorte más ancho, y al variar el espesor de la chapa sólo se consiguió aumentar las tensiones en esa zona, por lo que se optó por cambiar de estrategia colocando un resorte de torsión.

Los desplazamientos obtenidos si nos garantizaban la liberación del gatillo.

### 2.5.4. Elección del resorte de torsión de catálogo

El resorte de torsión se eligió de un catálogo comercial en función de la fuerza a generar, de mínimo 1 N y del espacio disponible, teniendo 4 mm para el ancho del resorte y su soporte como máximo.

Se eligió un resorte de catálogo on-line de la compañía BG España. Las siguientes figuras muestran la nomenclatura de las dimensiones y forma del resorte.

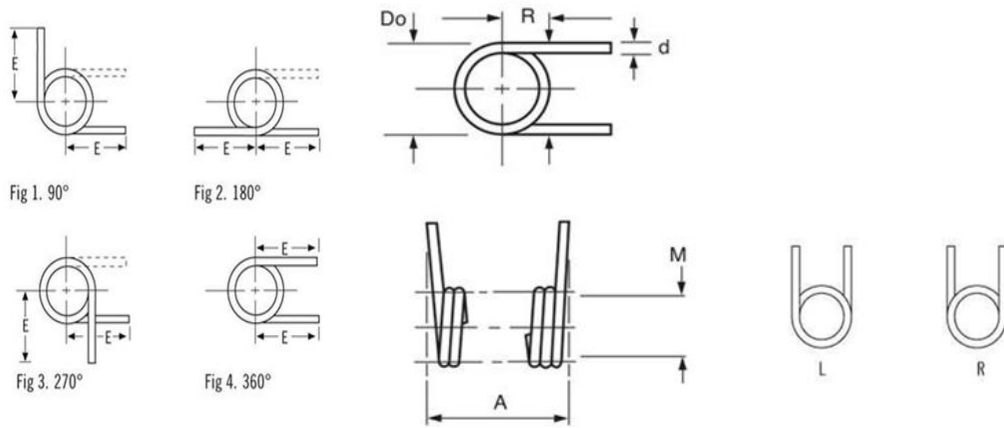


Figura 2.31: Parámetros del resorte de torsión.

Se buscó un resorte de acero inoxidable de torsión de máximo 1 mm de diámetro de hilo, más de 12 mm de pata y máximo de 3,8 mm de ancho.

Leyenda Resultados actualizados

Referencia	Autocad	L/R	d (mm)	D <sub>0</sub> (mm)	Fig	Deg°	T (N/mm)	1/2 E (mm)	M (mm)	E (mm)	A (mm)	Cantidad / Precio
T012090055L		L	0.30	2.36	1	90	5.31	4.75	1.40	9.52	1.37	1 <span style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px;">AÑADIR</span>
T012090055R		R	0.30	2.36	1	90	5.31	4.75	1.40	9.52	1.37	1 <span style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px;">AÑADIR</span>
T012270062L		L	0.30	2.59	3	270	5.31	4.75	1.57	9.52	3.53	1 <span style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px;">AÑADIR</span>
T012270062R		R	0.30	2.59	3	270	5.31	4.75	1.57	9.52	3.53	1 <span style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px;">AÑADIR</span>
T012180067L		L	0.30	2.77	2	180	5.31	4.75	1.70	9.52	2.29	1 <span style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px;">AÑADIR</span>
T012180067R		R	0.30	2.77	2	180	5.31	4.75	1.70	9.52	2.29	1 <span style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px;">AÑADIR</span>
T014090063L		L	0.36	3.15	1	90	7.91	6.35	1.60	12.70	1.70	1 <span style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px;">AÑADIR</span>
T014090063R		R	0.36	3.15	1	90	7.91	6.35	1.60	12.70	1.70	1 <span style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px;">AÑADIR</span>
T014270063L		L	0.36	3.15	3	270	7.91	6.35	1.60	12.70	4.09	1 <span style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px;">AÑADIR</span>

Figura 2.32: Elección del resorte de torsión.

Leyenda

Do = Diámetro exterior

d = Diámetro del alambre

R = Posición de carga

T = Par N/mm

M = Tamaño eje recomendado

E = Longitud de la pata (desde centro)

A = Longitud de eje mínima

Fig = Posición patas

Deg° = Grados de deflexion

**Figura 2.33:** Leyenda de los parámetros para la elección del resorte de torsión.

La fuerza necesaria para vencer el resorte se calcula con la siguiente fórmula a partir del par desarrollado por este, T, y la distancia de aplicación de la fuerza del gatillo medida desde el centro del resorte.

$$F = \frac{T}{d} \quad (2.6)$$

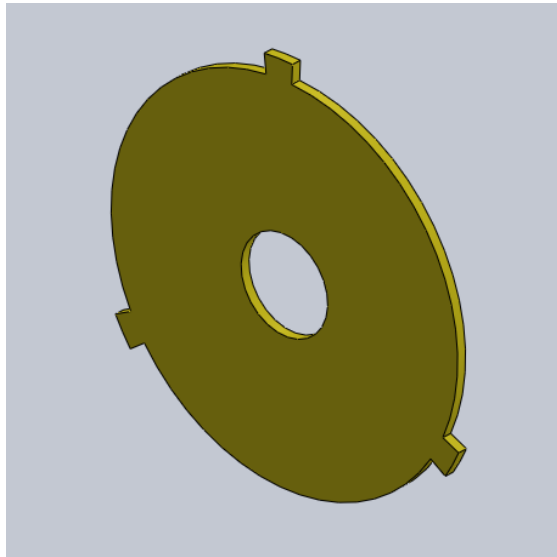
Los resultados se muestran en la siguiente tabla para distintas distancias.

Distancia de aplicación de la fuerza (mm)	Fuerza necesaria para liberar el gatillo (N)
6	1,32
7	1,13
8	0,99
9	0,88
10	0,79
11	0,72
12	0,66
13	0,61
14	0,57

**Tabla 2.30:** Distancia de aplicación de la fuerza y la fuerza necesaria para liberar el gatillo.

Las fuerzas que nos proporciona son fácilmente superables con la presión de un dedo.

## 2.6.Cálculos y estudios de la pieza 7



**Figura 2.34:** Modelo de la tapa interior.

La tapa interior sólo se usa para conducir el resorte de tensión constante que tiende a desplazamientos axiales, por lo tanto sólo se hizo un estudio de las dimensiones necesarias para su alojamiento en el espacio existente.

El diámetro máximo para esta pieza es de 40 mm, que se cogió como diámetro externo de la pieza, sin contar las chavetas de anclaje, que son de 3 mm. La anchura es de 2 mm.

## 2.7.Cálculos y estudios de la pieza 7

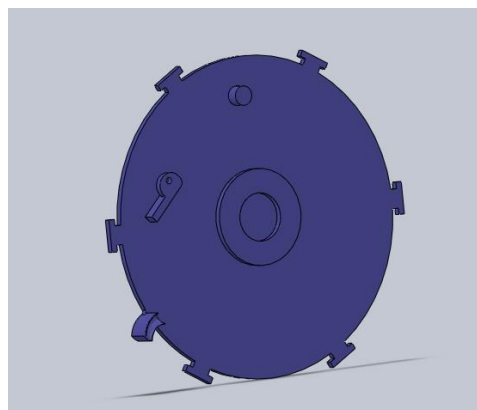


Figura –Diseño de tapa de la carcasa

La tapa de la carcasa se realizó por estudio dimensional en el ensamblaje del diseño final.

## 2.8. Listado de figuras

<i>Figura 2.1: Modelo de la pieza 1.</i>	1
<i>Figura 2.2: Modelo de la pieza 2.</i>	3
<i>Figura 2.3: Funcionamiento de la primera versión del gatillo, trabajando a compresión.</i>	4
<i>Figura 2.4: Funcionamiento del gatillo del prototipo 2, trabajando a tracción.</i>	5
<i>Figura 2.5: Funcionamiento del gatillo en el prototipo 3, trabajando a tracción.</i>	5
<i>Figura 2.6: Momento positivo del gatillo en el prototipo 2.</i>	6
<i>Figura 2.7: Momento positivo del gatillo en el prototipo 3.</i>	6
<i>Figura 2.8: Modelo de la pieza 1.</i>	8
<i>Figura 2.9: Malla del modelo del gatillo.</i>	10
<i>Figura 2.10: Malla del modelo del gatillo con detalle de las fuerzas y sujeciones.</i>	10
<i>Figura 2.11: Detalle del control de mallado.</i>	11
<i>Figura 2.12: Tensiones de Von Mises en el gatillo.</i>	12
<i>Figura 2.13: Desplazamientos.</i>	12
<i>Figura 2.14: Detalle de las mayores tensiones registradas en el gatillo.</i>	14
<i>Figura 2.15: Modelo de la pieza 3.</i>	14
<i>Figura 2.16: Ensayo de las fuerzas del resorte de tensión constante.</i>	15
<i>Figura 2.17: Características del resorte de tensión constante seleccionado.</i>	16
<i>Figura 2.18: Modelo del eje y la carcasa.</i>	16
<i>Figura 2.19: Modelo de la pieza 4 y 5 con las sujeciones y fuerzas aplicadas.</i>	18
<i>Figura 2.20: Malla aplicada para el estudio de las piezas 4 y 5.</i>	21
<i>Figura 2.21: Detalle del control de mallado en el eje.</i>	21
<i>Figura 2.22: Tensión máxima de Von Mises obtenida en el estudio de la pieza 4 y 5.</i>	22
<i>Figura 2.23: Desplazamientos obtenidos en el estudio de la pieza 4 y 5.</i>	23
<i>Figura 2.24: Puntos donde se generan las mayores tensiones.</i>	24
<i>Figura 2.25: Imagen del resorte de tensión constante.</i>	24
<i>Figura 2.26: Modelo de resorte de lámina.</i>	25
<i>Figura 2.27: Condiciones de contorno en el estudio del resorte de lámina.</i>	26
<i>Figura 2.28: Mallado del resorte de lámina.</i>	28
<i>Figura 2.29: Resultados de las tensiones de Von Mises obtenidas en el estudio de resorte de lámina.</i>	29
<i>Figura 2.30: Desplazamientos obtenidos en el estudio de resorte de lámina.</i>	29
<i>Figura 2.31: Parámetros del resorte de torsión.</i>	31

*Figura 2.32: Elección del resorte de torsión. .... 31*  
*Figura 2.33: Leyenda de los parámetros para la elección del resorte de torsión..... 32*  
*Figura 2.34: Modelo de la tapa interior. .... 33*

## 2.9. Listado de tablas

<i>Tabla 2.1: Radios máximos de curvatura para cables unipolares según la norma UNE 21021.</i>	2
<i>Tabla 2.2: Radios de los cilindros según las longitudes del cable enrollado.</i>	3
<i>Tabla 2.3: Longitud y longitud útil del cable.</i>	3
<i>Tabla 2.4: Descripción de las propiedades de la pieza del gatillo del prototipo final.</i>	7
<i>Tabla 2.5: Descripción del tipo de sujeción.</i>	8
<i>Tabla 2.6: Descripción de las cargas aplicadas.</i>	9
<i>Tabla 2.7: Descripción de las características de la malla aplicada.</i>	9
<i>Tabla 2.8: Fuerzas de reacción.</i>	11
<i>Tabla 2.9: Tensión máxima de Von Mises.</i>	11
<i>Tabla 2.10: Desplazamiento máximo.</i>	12
<i>Tabla 2.11: Tabla comparativa entre el gatillo del prototipo 2 y el prototipo final</i>	13
<i>Tabla 2.12: Tensión máxima de Von Mises y desplazamiento máximo.</i>	13
<i>Tabla 2.13: Descripción de las propiedades de la pieza 4 y 5.</i>	18
<i>Tabla 2.14: Descripción de las sujeciones aplicadas al estudio de la pieza 4 y 5.</i>	19
<i>Tabla 2.15: Descripción de las fuerzas aplicadas en estudio de la pieza 4 y 5.</i>	20
<i>Tabla 2.16: Características de la malla aplicada en estudio de la pieza 4 y 5.</i>	20
<i>Tabla 2.17: Fuerzas de reacción obtenidas en el estudio de la pieza 4 y 5.</i>	22
<i>Tabla 2.18: Tensión máxima de Von Mises obtenida en el estudio de la pieza 4 y 5.</i>	22
<i>Tabla 2.19: Desplazamiento máximo obtenido en el estudio de la pieza 4 y 5.</i>	22
<i>Tabla 2.20: Tensión máxima de Von Mises y desplazamiento máximo.</i>	23
<i>Tabla 2.21: Características del resorte de lámina.</i>	26
<i>Tabla 2.22: Tipos de sujeciones en el estudio del resorte de lámina.</i>	27
<i>Tabla 2.23: Cargas aplicadas en el estudio del resorte de lámina.</i>	27
<i>Tabla 2.24: Características del mallado en el estudio del resorte de lámina</i>	27
<i>Tabla 2.25: Fuerzas de reacción del estudio de resorte de lámina.</i>	28
<i>Tabla 2.26: Momentos de reacción del estudio de resorte de lámina.</i>	28
<i>Tabla 2.27: Tensión máxima de Von Mises obtenida en el estudio de resorte de lámina.</i>	28
<i>Tabla 2.28: Desplazamiento máximo obtenido en el estudio de resorte de lámina.</i>	29
<i>Tabla 2.29: Resultados obtenidos en el estudio de resorte de lámina.</i>	30
<i>Tabla 2.30: Distancia de aplicación de la fuerza y la fuerza necesaria para liberar el gatillo.</i>	32





# **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado de Ingeniería Mecánica

Planos.

## **TRABAJO FIN DE GRADO.**

### **TÍTULO**

SISTEMA FIABLE PARA RECOGIDA DE CABLEADO DE  
ELECTROCARDIÓGRAFO

### **AUTORA**

Ana María Galván Torres.

### **TUTORA**

Viana Lida Guadalupe Suárez.



## Índice de planos

Plano 1.- Ensamblaje

Plano 2.- Plano explosionado del mecanismo

Plano 3.- Trinquete

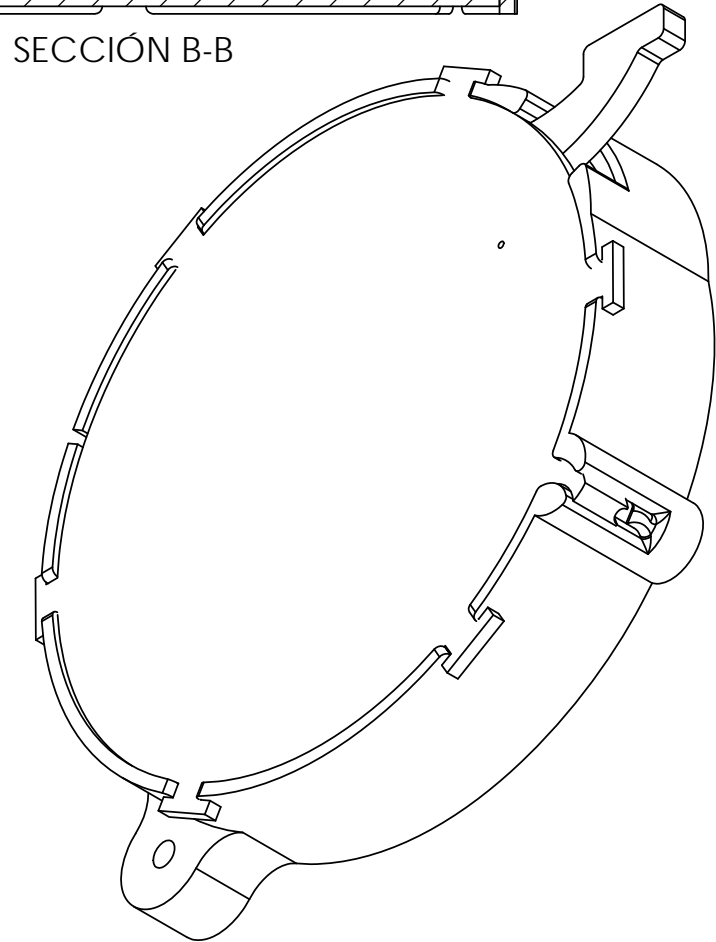
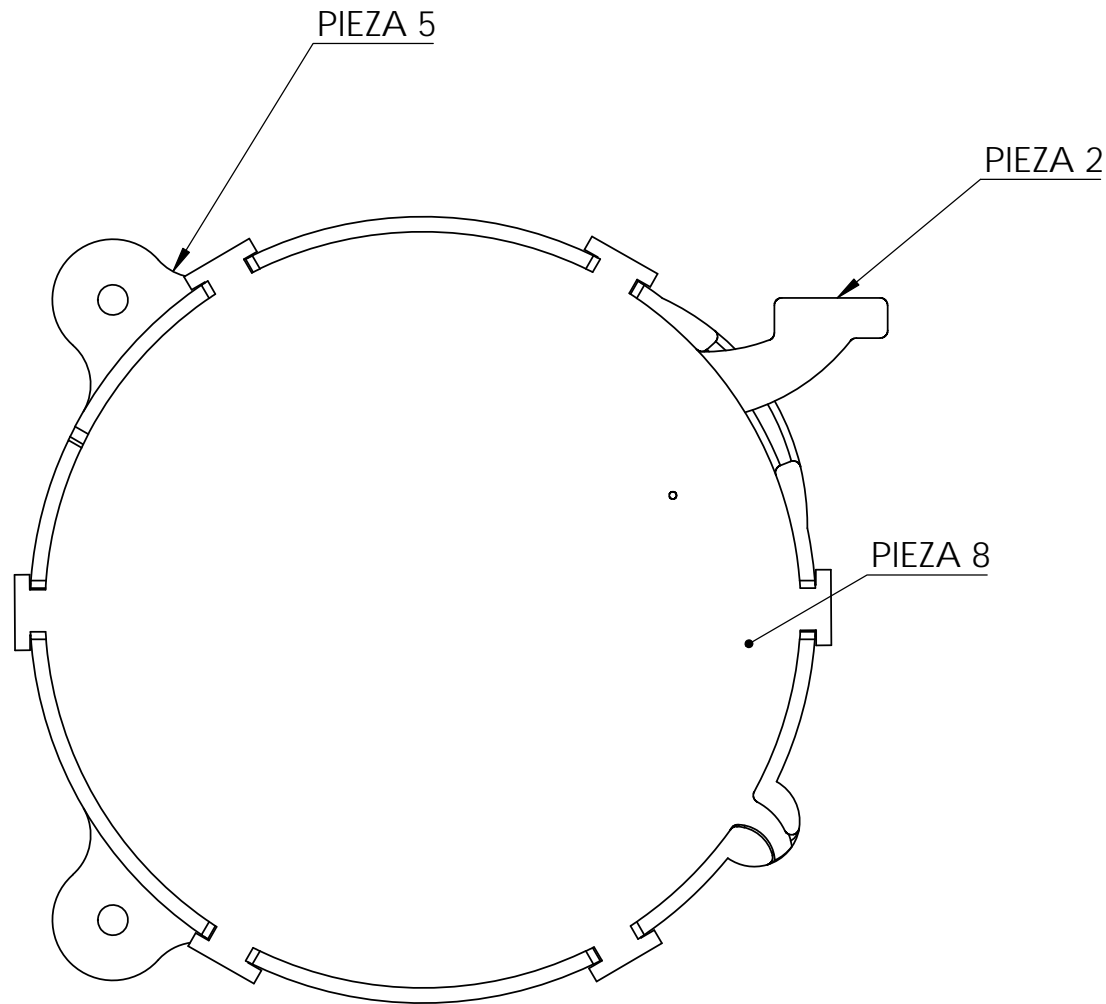
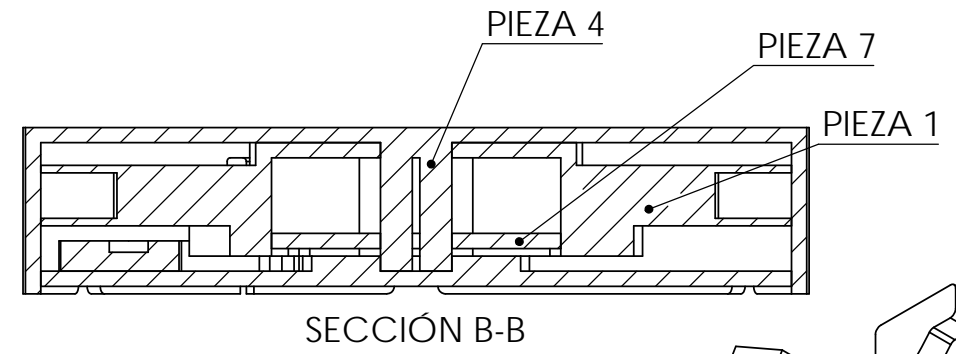
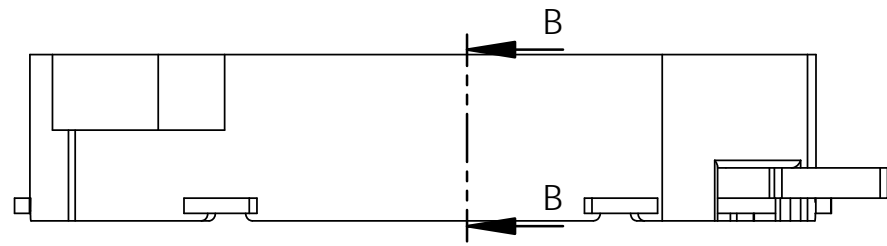
Plano 4.- Gatillo

Plano 5.- Eje y carcasa externa


Plano 6.- Tapa interior

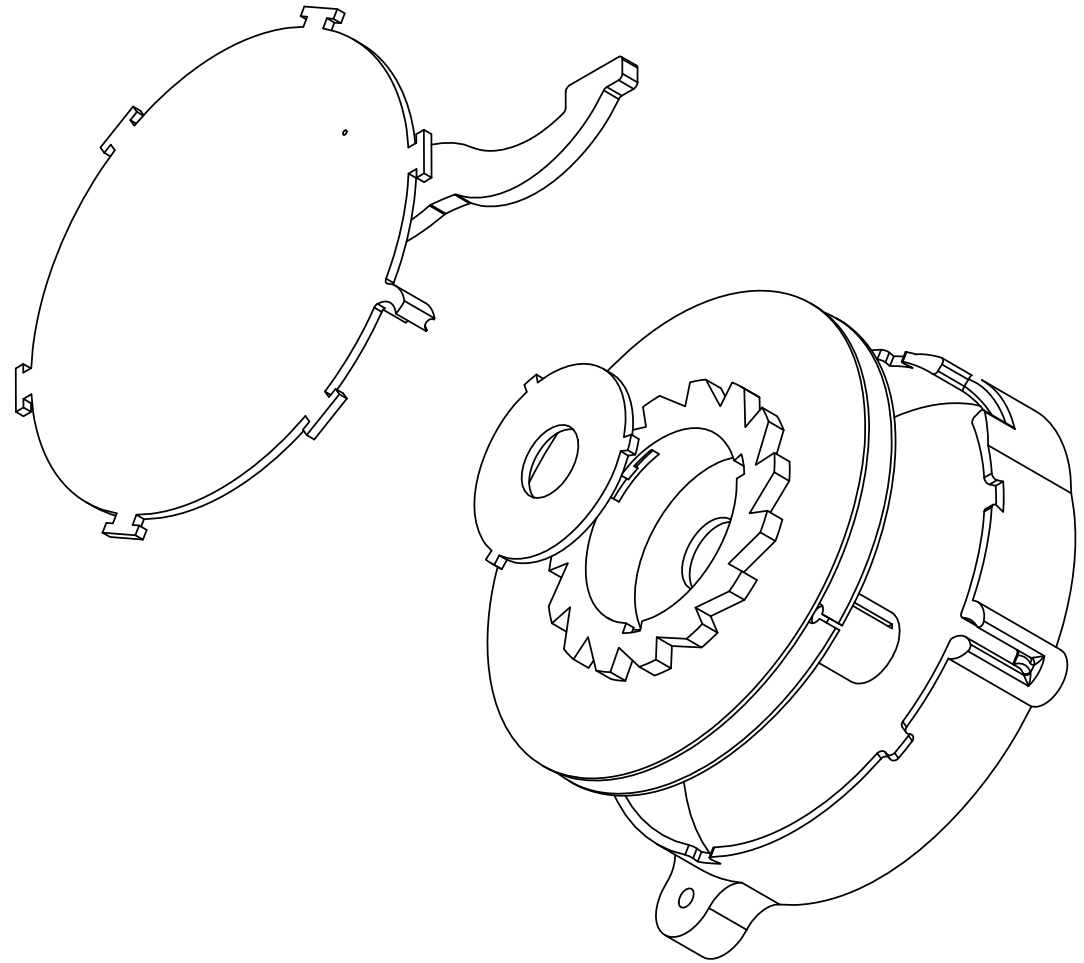
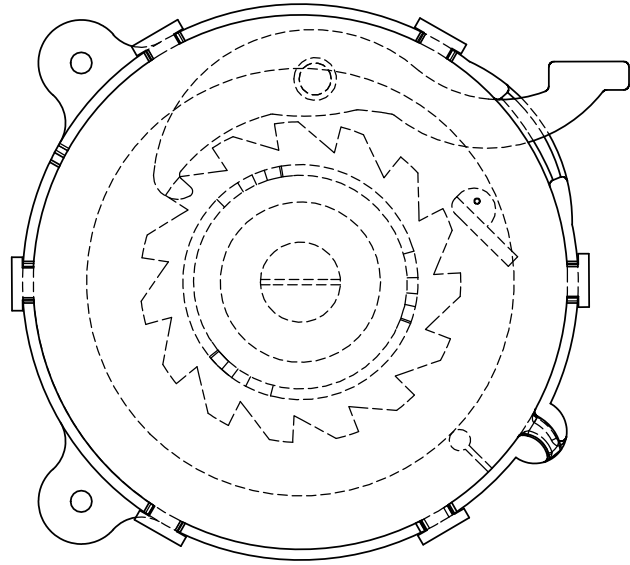
Plano 7.- Tapa de la carcasa




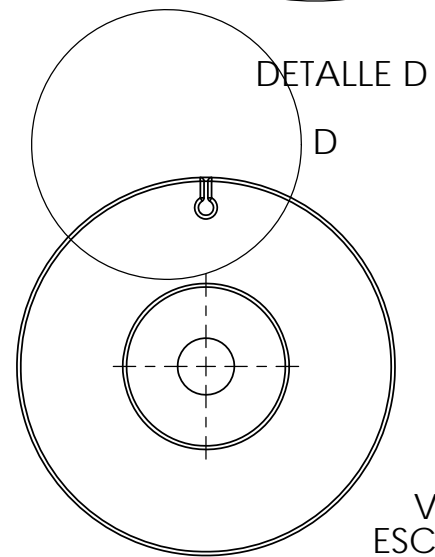
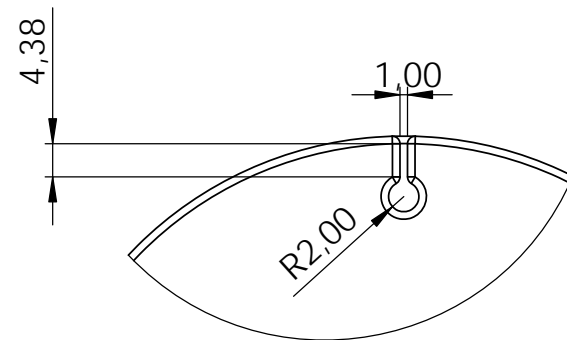
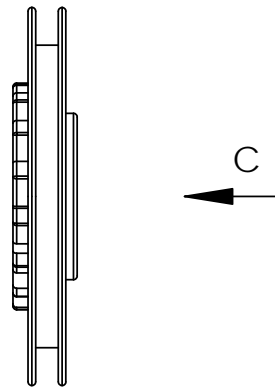
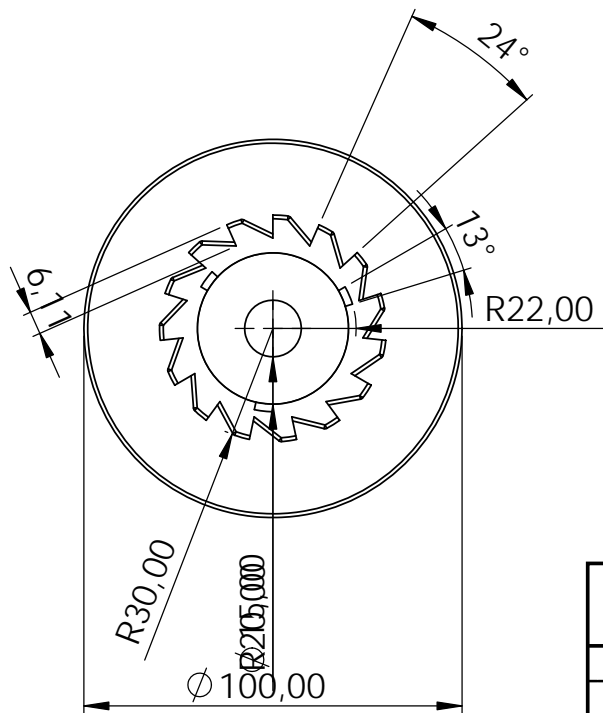
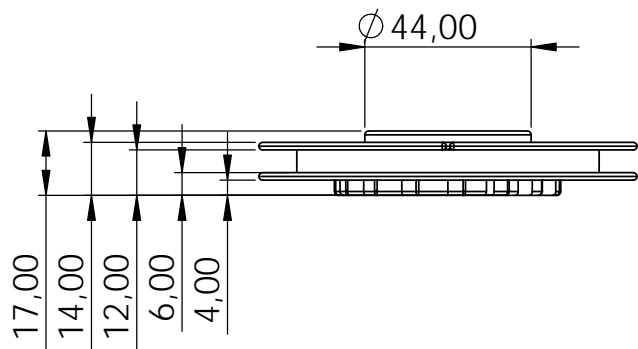


PIEZA 1	TRINQUETE
PIEZA 2	GATILLO
PIEZA 3	RESORTE DE TENSION CTE
PIEZA 4 Y 5	EJE Y CARCASA EXTERNA
PIEZA 7	TAPA INTERIOR
PIEZA 8	TAPA CARCASA


<b>TRABAJO FIN DE GRADO: Sistema fiable para recogida de cableado de electrocardiógrafo</b>			
Dibujado	Autor ANA M GALVÁN TORRES	 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Fecha	09-2015		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:1	ENSAMBLAJE		Nº P. :1 Nom.Arch:

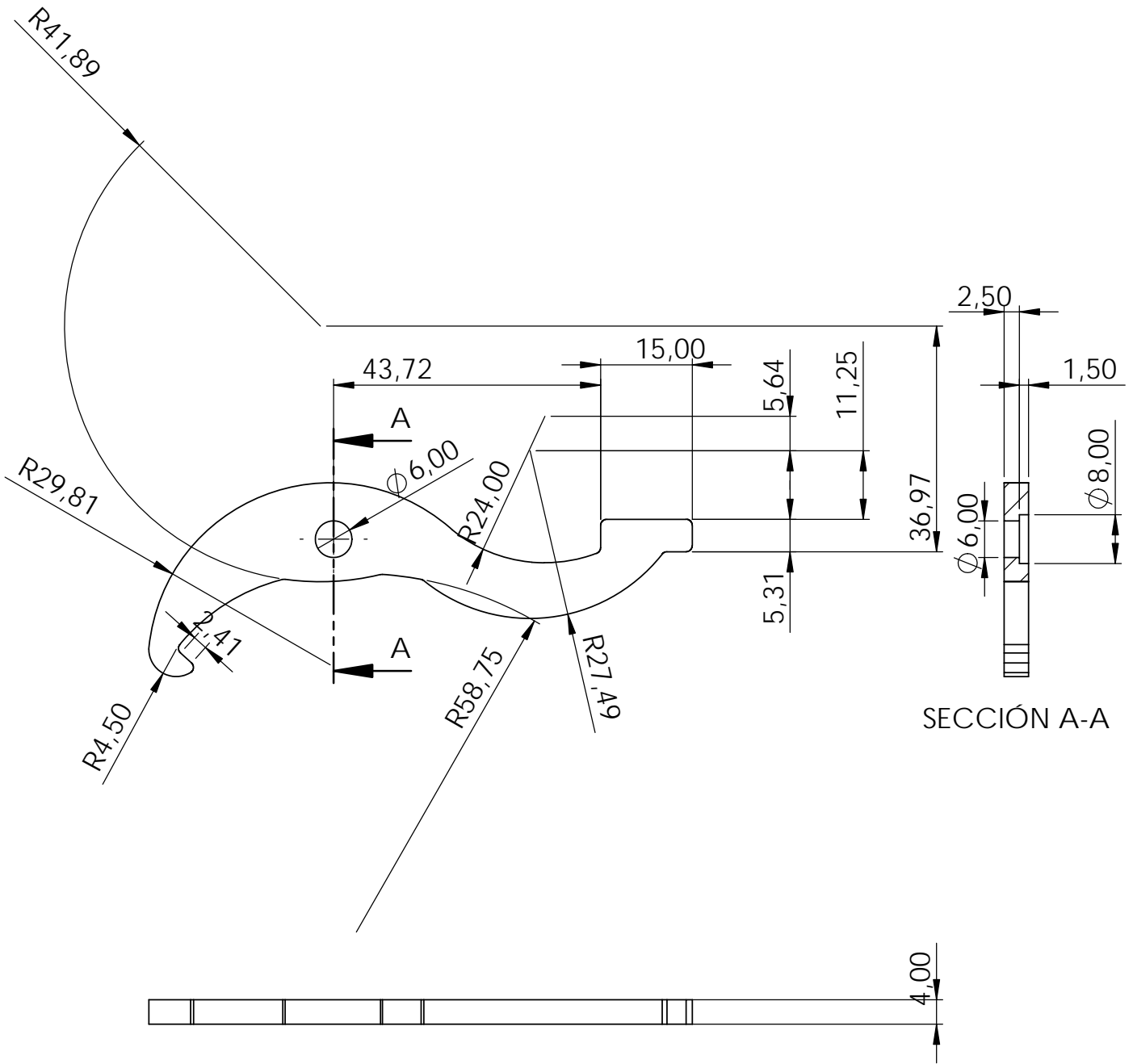


<b>TRABAJO FIN DE GRADO: Sistema fiable para recogida de cableado de electrocardiógrafo</b>			
Dibujado	ANA M GALVÁN TORRES	 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Fecha	09-2015		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:1	<b>PLANO EXPLOSIONADO DEL MECANISMO</b>		Nº P. :2 Nom.Arch:



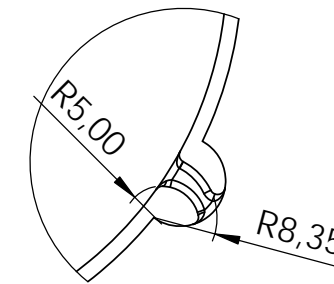
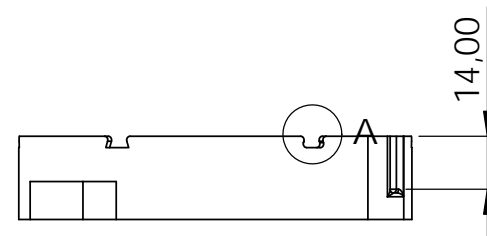
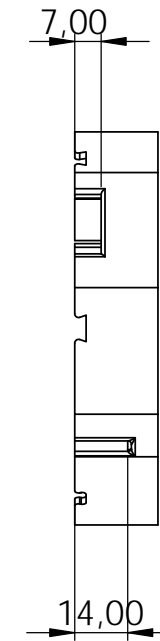
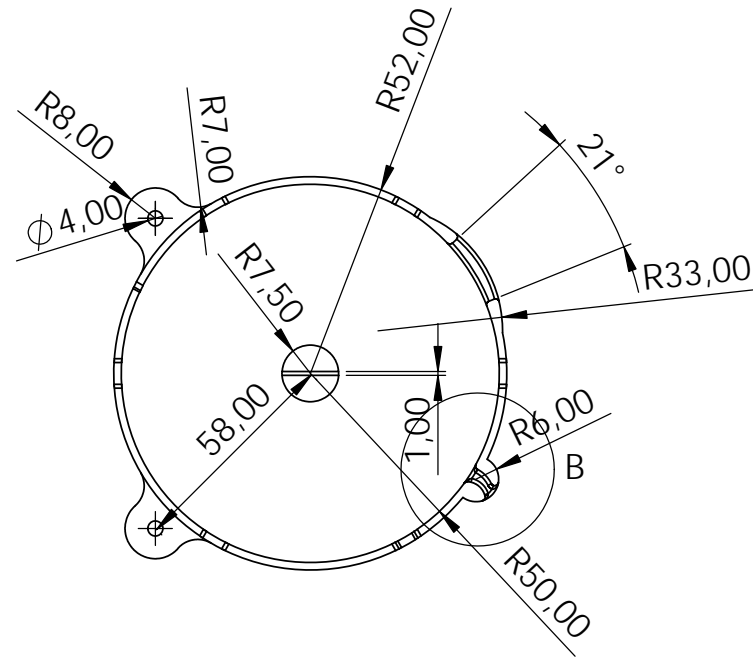
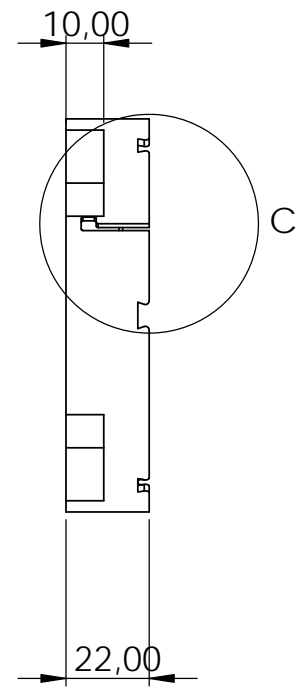
TRABAJO FIN DE GRADO: Sistema fiable para recogida de cableado de electrocardiógrafo

Autor			ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
Dibujado	ANA M GALVÁN TORRES		Grado en Ingeniería Mecánica
Fecha	09-2015		Universidad de La Laguna
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:2	PIEZA 1 : TRINQUETE		Nº P. :3
			Nom.Arch:

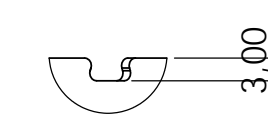


<b>TRABAJO FIN DE GRADO: Sistema fiable para recogida de cableado de electrocardiógrafo</b>			
		Autor	
Dibujado	ANA M <sup>º</sup> GALVÁN TORRES		 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Fecha	09-2015		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:2	<b>PIEZA 2: GATILLO</b>		Nº P. :4
		Nom.Arch:	

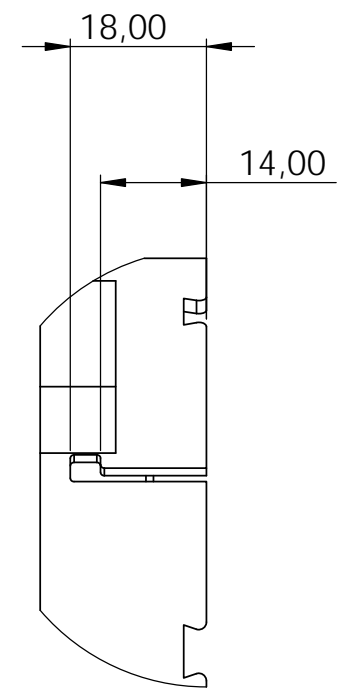




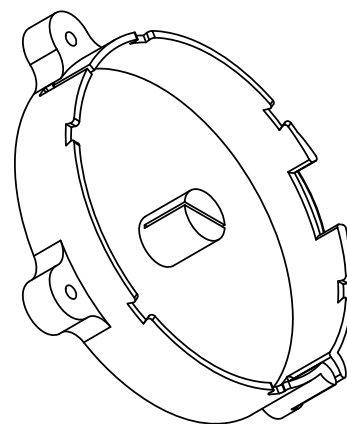
DETALLE B  
ESCALA 1:1




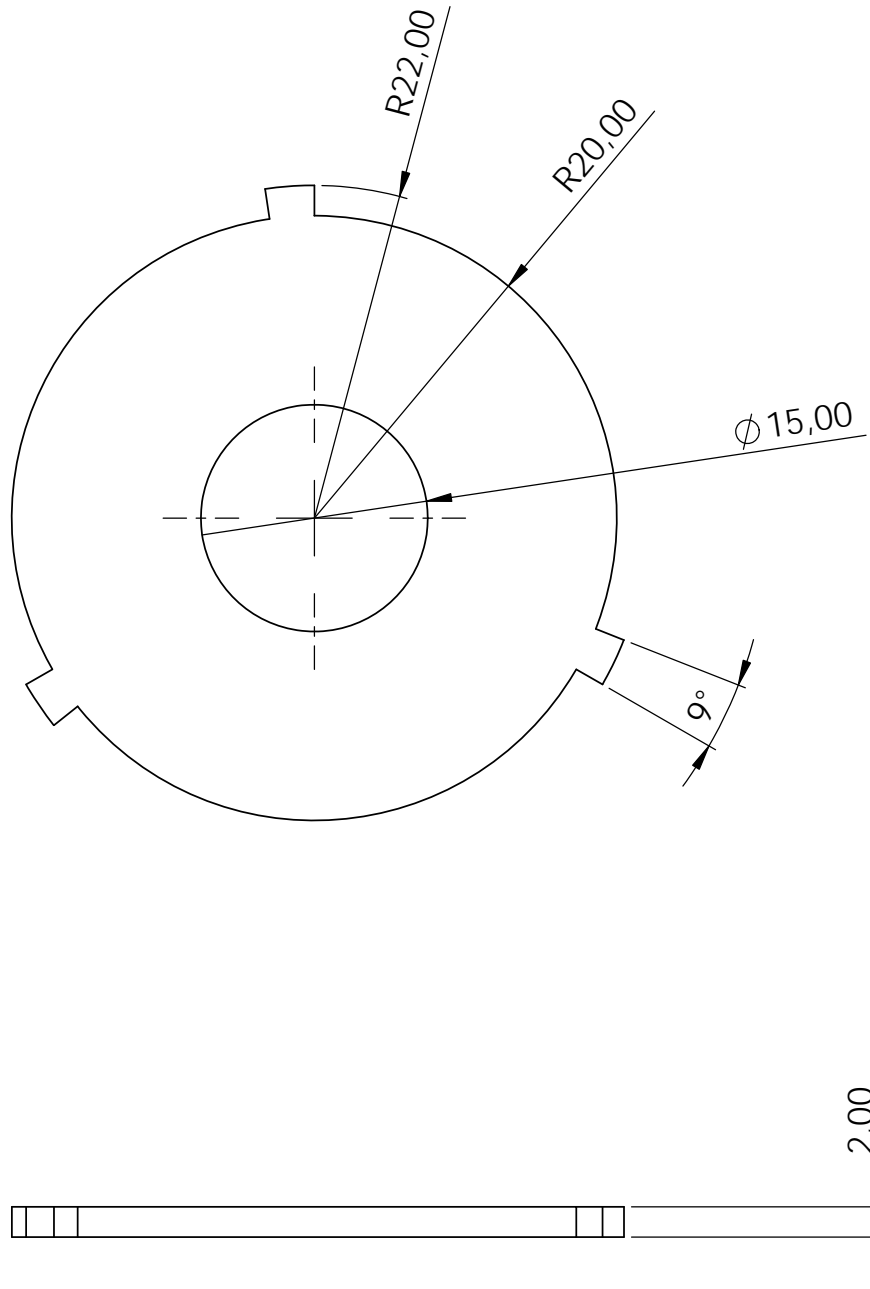
DETALLE A  
ESCALA 1:1


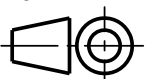


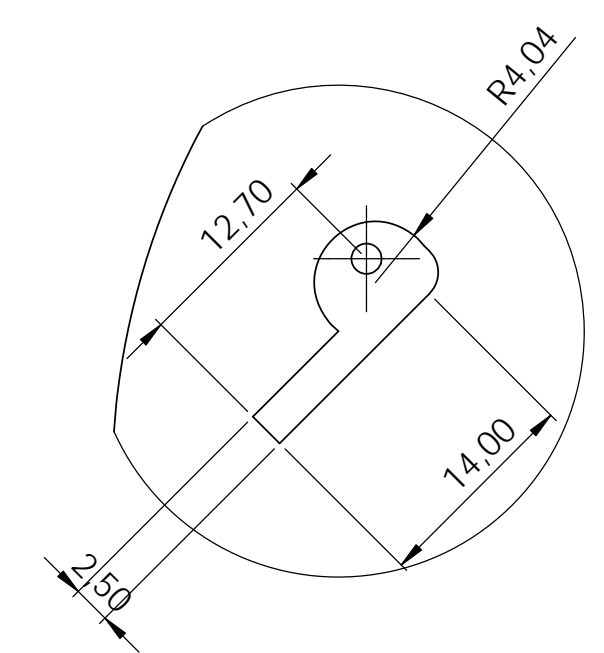
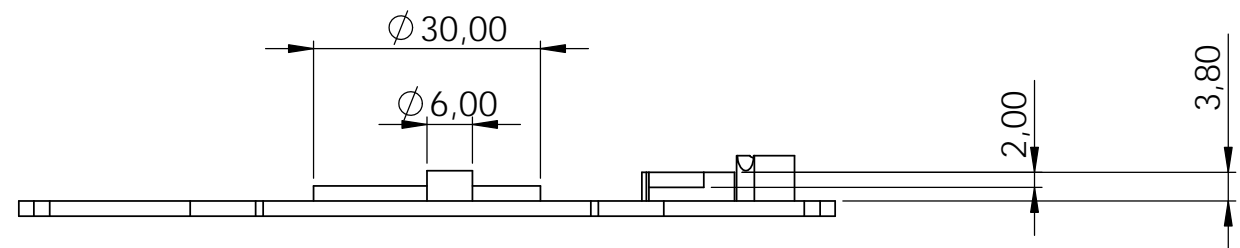
DETALLE C  
ESCALA 1:1



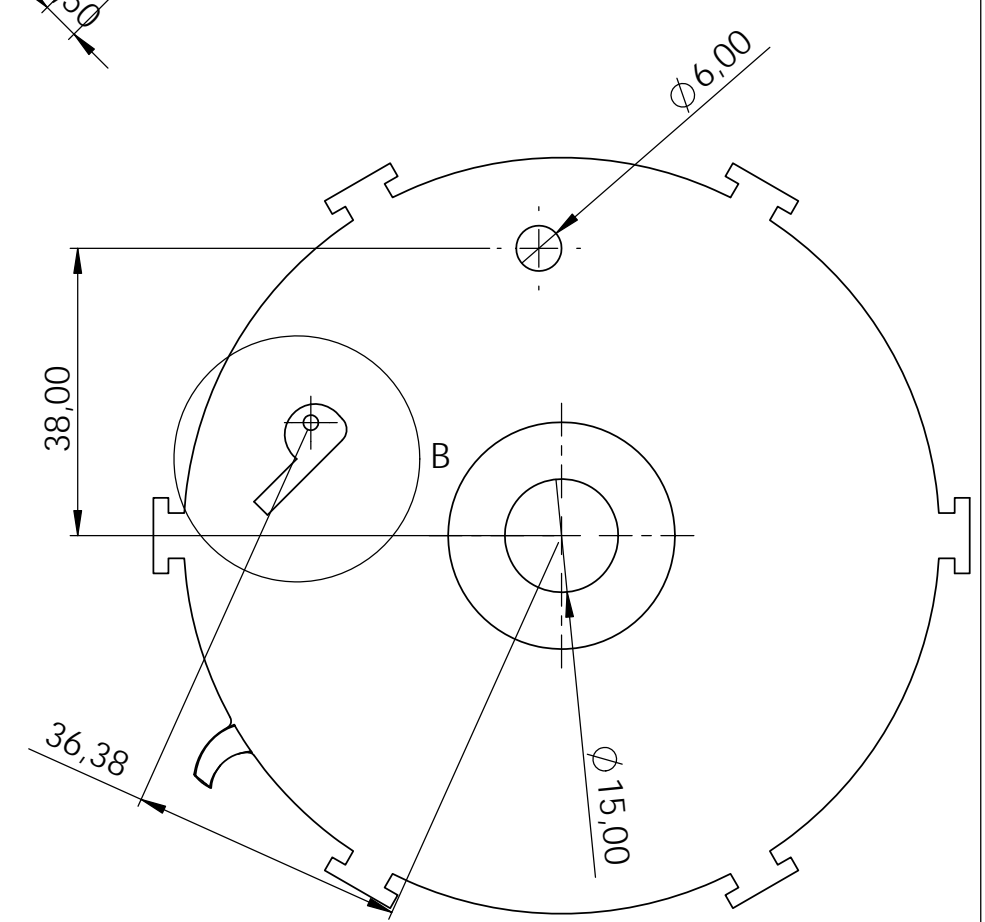
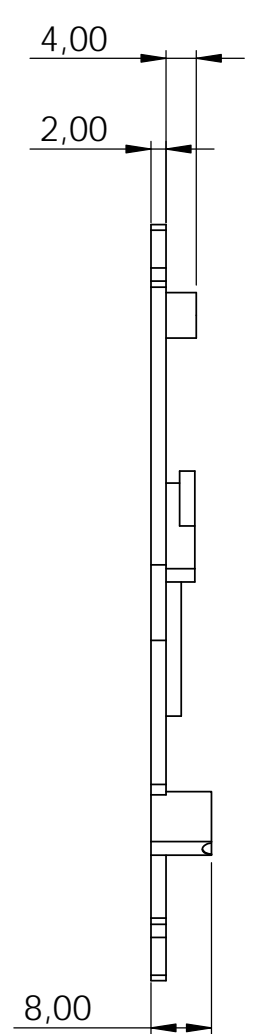
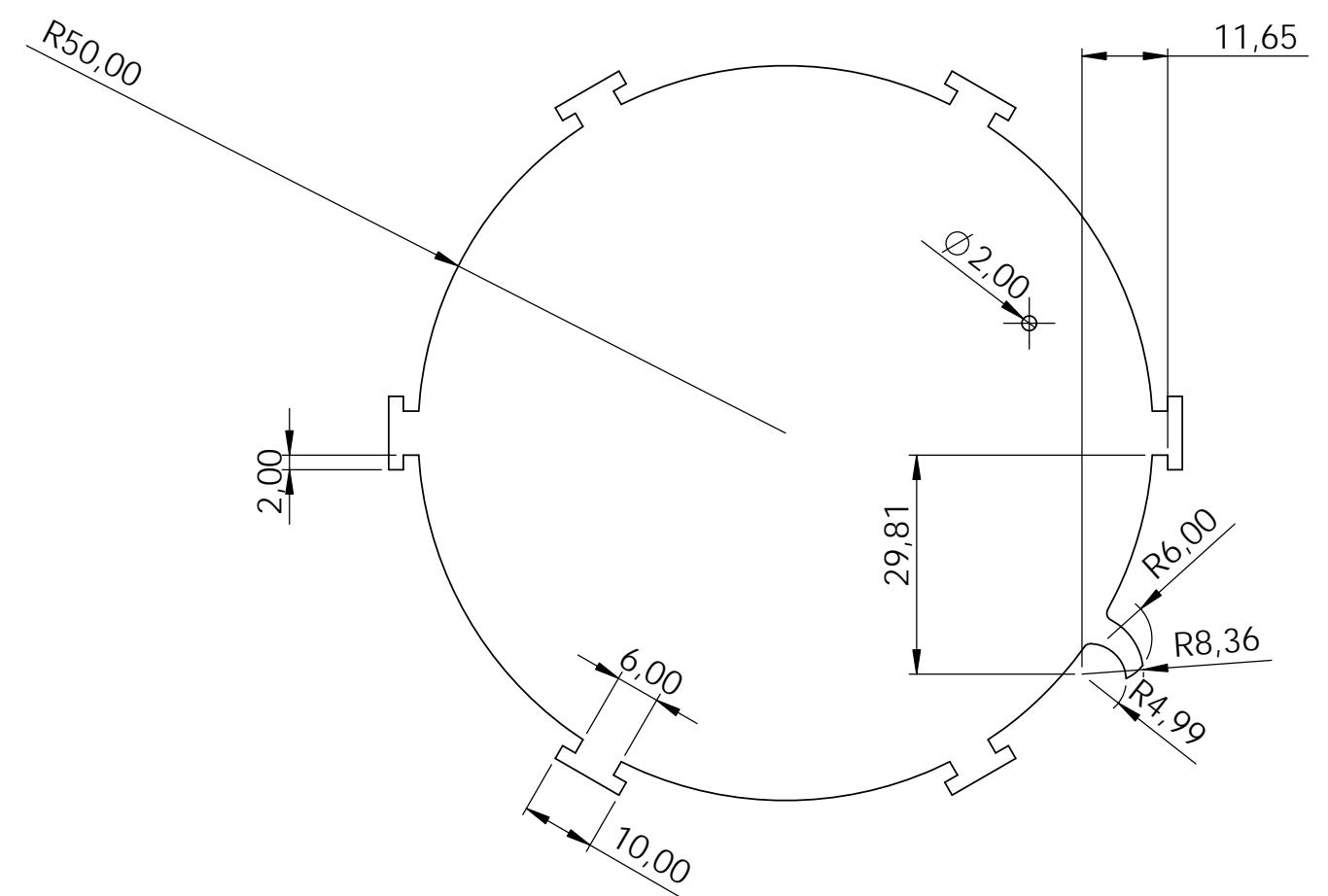
<b>TRABAJO FIN DE GRADO: Sistema fiable para recogida de cableado de electrocardiógrafo</b>			
Dibujado	Autor ANA M GALVÁN TORRES		 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Fecha	09-2015		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:2	<b>PIEZA 4 Y 5 : EJE Y CARCASA EXTERNA</b>		Nº P. :5 Nom.Arch:



<b>TRABAJO FIN DE GRADO: Sistema fiable para recogida de cableado de electrocardiógrafo</b>			
		Autor	
Dibujado	ANA M <sup>o</sup> GALVÁN TORRES		ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Fecha	09-2015		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 2:1 	<b>PIEZA 7: TAPA INTERIOR</b>		Nº P. :6  Nom.Arch:



DETALLE B  
ESCALA 2 : 1



<b>TRABAJO FIN DE GRADO: Sistema fiable para recogida de cableado de electrocardiógrafo</b>			
Dibujado		Autor	
ANA M GALVÁN TORRES		ULL	
Fecha		ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA	
09-2015		Grado en Ingeniería Mecánica	
Id. s. normas		Universidad de La Laguna	
UNE-EN-DIN		Universidad de La Laguna	
ESCALA: 1:1	<b>PIEZA 8: TAPA DE LA CARCASA</b>		Nº P. :7
			Nom.Arch:



# **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado de Ingeniería Mecánica

Pliego de condiciones.

## **TRABAJO FIN DE GRADO.**

### **TÍTULO**

SISTEMA FIABLE PARA RECOGIDA DE CABLEADO DE  
ELECTROCARDIÓGRAFO

### **AUTORA**

Ana María Galván Torres.

### **TUTORA**

Viana Lida Guadalupe Suárez.



## Índice

4. Pliego de condiciones .....	1
4.1. Resumen.....	1
4.2. Condiciones generales .....	1
4.3. Condiciones de uso general .....	1
4.4. Condiciones técnicas.....	2
4.4.1. Acabados .....	2
4.4.2. Montaje.....	2
4.4.3. Mantenimiento.....	3





## **4. Pliego de condiciones**

### **4.1. Resumen**

El presente pliego de condiciones hace referencia al diseño y fabricación de un prototipo de un sistema fiable para recogida de cableado de un electrocardiograma. Al tratarse de un prototipo, el pliego de condiciones abordará exclusivamente únicamente aquellas cuestiones relevantes para la correcta fabricación y montaje del mismo, eludiendo así cualquier tipo de aspecto económico, normativo, legal o cualquier otra índole que se aleje de las condiciones técnicas.

Es destacable que el presente pliego de condiciones está enfocado al desarrollo de un solo sistema de recogida, quedando el sistema completo para cada uno de los cables, su completa fabricación y descripción de uso fuera del alcance del objeto de este proyecto.

### **4.2. Condiciones generales**

Cabe indicar como condición general para el presente proyecto que, con respecto a los componentes comerciales, para todo lo referente a estos se tendrán en cuenta las indicaciones técnicas y manuales suministrados por los fabricantes. Queda excluido del presente pliego, todas aquellas condiciones individuales de estos componentes comerciales.

### **4.3. Condiciones de uso general**

En lo relativo al uso del sistema fiable para recogida de cableado, ha sido diseñado teniendo en cuenta las dimensiones y requerimientos del cableado para electrocardiógrafos, quedando excluido cualquier otro uso que se pueda hacer de este dispositivo.

Si bien se ha tenido en cuenta la longitud y la sección de los sistemas comerciales, puede darse en caso de que nuevos modelos realicen una modificación de las medidas y secciones del cableado, por lo que no se producirá el correcto funcionamiento del sistema, provocando incluso la aparición de esfuerzos no contemplados en la estructura que podrían comprometer el funcionamiento y la integridad estructural del mismo.

Del mismo modo, se ha estudiado la fuerza que se aplica al cable durante el uso de un electrocardiógrafo, sobretodo en momentos de urgencia, incluyendo un margen de

seguridad. Sin embargo, la aplicación de tensiones, superiores a las estudiadas, por el personal sanitario en un momento determinado, puede conllevar al mal funcionamiento del sistema para recogida del cable.

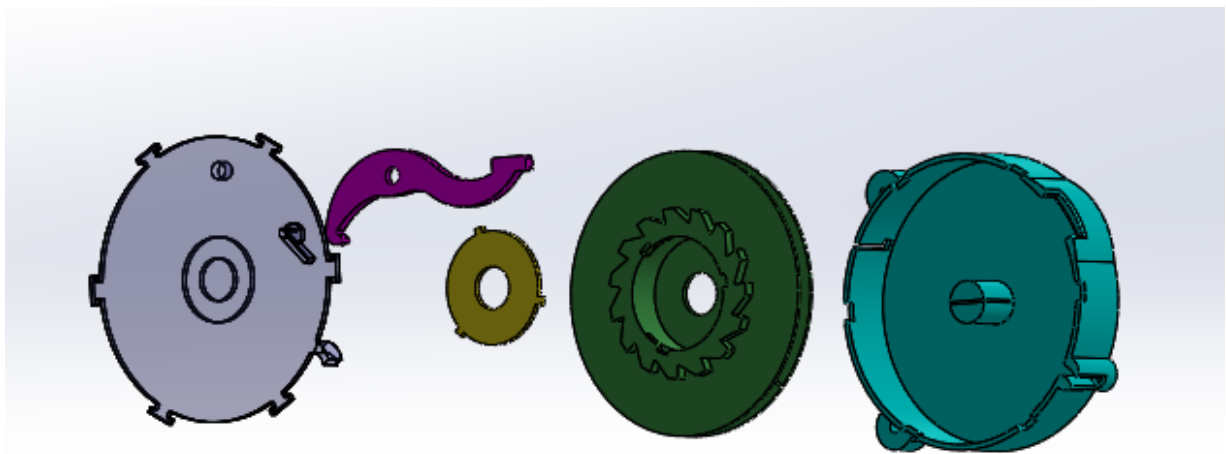
#### 4.4. Condiciones técnicas

##### 4.4.1. Acabados

El prototipo del sistema de recogecables será extruido mediante una impresora 3D en plástico ABS. Será condición indispensable que tras la impresión sea analizada y limadas las partes móviles y terminaciones para su correcto funcionamiento. Si durante el proceso de impresión aparecieran aristas vivas, deberán ser suprimidas mediante biselado o achaflanado, pues el profesional o el paciente pueden llegar a entrar en contacto con estos elementos del dispositivo.

##### 4.4.2. Montaje

Una vez hayan sido obtenidas todas las piezas, éstas han de ensamblarse junto con el resorte según la siguiente figura.



**Figura 4.1:** Ensamblaje del dispositivo.

Pasos a seguir:

1. Pegar al cable que se queda en el mecanismo una lámina de acetato. El extremo más cercano al electrocardiógrafo.
2. Se enrolla el cable en el trinquete. Primero se introduce el cable en la trabilla ubicada en la pared de separación de los cilindros, luego se enrolla en cada uno de los cilindros desde la zona central del cable hacia los extremos. La parte de cable del cilindro grande se enrolla en sentido antihorario y en el cilindro pequeño en sentido horario
3. Se introduce el trinquete con el cable en la carcasa, sacando el cable por los orificios de la carcasa. El más próximo a las orejas de anclaje para el extremo del cable del electrocardiógrafo y el extremo del paciente por el otro orificio.
4. Se acopla el resorte de tensión constante dentro del trinquete.
5. Se pone la tapa interior que se traba en los chaveteros del trinquete.
6. Se instala el gatillo en la tapa de la carcasa, el eje lo calentamos para dilatarlo y que quede fijo.
7. Se acopla el resorte de tensión constante a la tapa Por medio de un pequeño eje de acero.
8. Y por último se coloca la tapa en la carcasa.

#### **4.4.3. Mantenimiento**

El mantenimiento se conoce como las labores para preservar el buen estado y fomentar la durabilidad del conjunto. Se entiende que el usuario deber ser el encargado de realizar el mantenimiento, ya que es el primer interesado en el buen funcionamiento del sistema para recogida de cableado. Seguidamente se enumeran algunas de las actuaciones recomendadas para disponer del dispositivo en condiciones apropiadas para el trabajo

- Se recomienda revisar periódicamente el funcionamiento del dispositivo, la colocación del cable y el correcto estado del gatillo y el resorte. Se requiere evitar un ambiente con mucho polvo y suciedad que pudiera interferir en el mecanismo.
- No se recomienda la aplicación de lubricante industrial en los componentes, pudiendo ser ciertos componentes aplicados para la lubricación y la limpieza corrosivos para el sistema.

- Para el correcto funcionamiento del resorte, se recurrirá a los catálogos y manuales suministrados por los fabricantes de dicho componente ya que en estos, se encuentran todas las acciones de mantenimiento necesarias para estos componentes así como sus limitaciones y condiciones de uso.

# **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado de Ingeniería Mecánica

Presupuesto.

**TRABAJO FIN DE GRADO.**

TÍTULO

SISTEMA FIABLE PARA RECOGIDA DE CABLEADO DE  
ELECTROCARDIÓGRAFO

AUTORA

Ana María Galván Torres.

TUTORA

Viana Lida Guadalupe Suárez.



## Índice

5. Presupuesto.....	1
5.1. Resumen.....	1
5.2. Banco de precios .....	1
5.3. Mediciones.....	1
5.4. Presupuesto .....	2





## 5. Presupuesto

### 5.1. Resumen

En el presente documento se muestran las mediciones y presupuesto de la fabricación de un prototipo de un sistema fiable para la recogida de cables de un electrocardiógrafo.

### 5.2. Banco de precios

Para el cálculo de la obtención de las piezas necesarias para el Sistema fiable para recogida del cableado de electrocardiograma, se han estimado los siguientes precios teniendo en cuenta las referencias actuales del mercado.

Concepto	Cantidad	Cuantía
Kg de material ABS	1	20,00€
Hora de trabajo de operario en la impresora 3D	1	10,00€
Resorte tensión constante	1	7,25€
Resorte recuperación del gatillo	1	2,62€

**Tabla 1:** Tabla de precios.

### 5.3. Mediciones

Haciendo uso del software CURA de la empresa ULTIMAKER, se ha calculado el tiempo necesario y la cantidad de material para realizar la impresión en 3D de las piezas necesarias para el sistema fiable para recogida de cableado, a una velocidad de 40mm/s, altura de capa de 0,2mm y densidad de llenado del 100%.

Nombre de la pieza	Peso (g)	Longitud (m)	Tiempo estimado (min)
Tapa interior	3,0	0,97	15
Gatillo	5,0	1,79	28
Carcasa exterior	49,0	16,33	278
Trinquete	70,0	25,50	334
Tapa exterior	23,3	7,73	116

**Tabla 2:** Mediciones.

## 5.4.Presupuesto

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, se realiza el cálculo de los costes de la fabricación de cada una de las piezas que componen el sistema.

Nombre de la pieza	Coste material (€)	Coste de la mano de obra (€)
Tapa interior	0,06	2,50
Gatillo	0,10	4,67
Carcasa exterior	0,98	46,33
Trinquete	1,40	55,67
Tapa exterior	0,47	19,33
Resorte tensión constante	7,25	0,00
Resorte recuperación del gatillo	2,62	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>12,88</b>	<b>128,50</b>

**Tabla 3:** Costes desglosados.

Por lo tanto el coste total de la fabricación de las piezas para el sistema queda reflejado en la siguiente tabla.

Nombre de la pieza	Coste material (€)
Total coste material	12,88
Total coste mano de obra	128,50
<b>TOTAL FABRICACIÓN</b>	<b>141,38</b>
IGIC 7%	9,90
<b>TOTAL</b>	<b>151,27</b>

**Tabla 4:** Costes de fabricación.

Por lo tanto el coste de la fabricación del sistema asciende a CIENTO CINCUENTA Y UN EUROS CON VEINTISIETE CÉNTIMOS.