

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Diseño y fabricación de un magnetómetro de gradiente alterno de campo (AGM)



Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico

Trabajo Fin de Grado

Autor: Sánchez Gracia, Julio

Director: Ortega Hertogs, Ricardo Jesús

Tudela, Junio de 2016

Resumen

El objetivo de este proyecto consiste en el diseño y fabricación de un magnetómetro de gradiente de campo alterno (AGM) con sensor opto-mecánico, que incluye la electrónica de procesado de la señal.

El magnetómetro persigue la medición del ciclo de histéresis magnética en campos magnéticos de hasta 2 teslas, a temperatura ambiente, al aire o en vacío para materiales de dimensiones típicas 5 x 5 x 5mm.

El diseño del sensor debe ser compatible con la instrumentación disponible para la generación del gradiente de campo magnético.

En la fabricación del dispositivo de medición, basado en la incidencia de un haz láser en un voladizo que sustenta a la muestra, se hará uso de materiales noveles, basados en composites de fibra de carbono fabricados en el campus de Tudela, caracterizados en sus propiedades mecánicas y adecuados a la aplicación opto-mecánica que se requiere.

La fabricación se realizará mediante el uso de nuevas tecnologías de fabricación de materiales de las que se dispone en el campus de Tudela.

Palabras clave:

Magnetómetro de Gradiente Alterno de campo. Sensor opto-mecánico. Voladizo de fibra de carbon. Frecuencia de resonancia por flexión.

Abstract

The objective of this project is based on designing and manufacturing an Alternating field Gradient Magnetometer (AGM) with opto-mechanical sensor which includes electronic signal processing. The device is to record magnetic hysteresis loops in fields up to 2 tesla at room temperature, in air or in vacuum, for materials dimensions about 5 x 5 x 5mm.

The sensor design should be compatible with the available instrumentation for generating the magnetic field gradient.

It will make use of novel materials based on composites of carbon fiber manufactured on the campus of Tudela in the manufacture of the measuring device, based on the incidence of a laser beam on a cantilever which supports the sample, characterized in properties appropriate mechanical and opto-mechanical application required.

New manufacturing technologies of materials have been used, available at the campus of Tudela.

Keywords:

Alternating field Gradient Magnetometer. Opto-mechanical sensor. Carbon fiber cantilever. Flexural resonant frequency.

Índice

1.	Introducción	3
2.	Antecedentes	4
2.1	Magnetómetro de muestra vibrante (VSM)	4
2.2	Magnetómetro SQUID (Superconducting Quantum Interference Device).....	5
2.3	Magnetómetro de gradiente de campo alterno (AGM).....	5
3.	Fundamento Teórico	7
3.1	Fuerza experimentada en un espécimen sometido a un gradiente alterno.....	7
3.2	Frecuencia de resonancia de un voladizo (<i>beam</i>).....	8
4.	Diseño del Conjunto Posicionador	9
4.1	Diseño del Posicionador Rotativo	10
4.1.1	Explicación del mecanismo	10
4.1.2	Diseño 3D	12
4.2	Diseño de la mesa X-Y	16
4.2.1	Explicación del mecanismo	16
4.2.2	Diseño 3D	16
4.3	Diseño de la mesa Z.....	19
4.3.1	Elección del mecanismo	19
4.3.2	Diseño 3D	19
5.	Fabricación del Sistema Posicionador	22
5.1	Fabricación de la mesa X-Y.....	22
5.2	Fabricación de la mesa Z	26
5.3	Fabricación del conjunto posicionador rotativo	31
6.	Diseño del dispositivo opto-mecánico	34
6.1	Elección del material para el voladizo.....	35
6.2	Diseño del Voladizo	42
6.3	Diseño Caja de Vacío	43
6.4	Diseño de la electrónica de control del dispositivo opto-mecánico	47
6.4.1	Diseño de la electrónica de amplificación de señal	47
7.	Conclusiones.....	49
8.	Referencias.....	51
9.	Anexos.....	52
9.1	Anexo 1: Planos	52
9.2	Anexo 2: Cálculos	110
9.2.1	Cálculos del mecanismo tornillo sinfín-corona (Posicionador rotativo)	110
9.2.2	Cálculo de la precisión del posicionador rotativo	111
9.2.3	Cálculo de las dimensiones del voladizo	111

9.2.4	Cálculos del mecanismo posicionador del detecto segmentado (Dispositivo optomecánico)	112
9.3	Anexo 3: Catálogos.....	113
	122
9.4	Anexo 4: Ensayos.....	123
9.4.1	Ensayo de tracción	123
9.5	Anexo 5: Referencias bibliográficas	131
9.5.1	Hamamatsu, Si Photodiodes	131
9.5.2	Hoja de características Toray T300	133
9.5.3	Analog Devices AD620.....	135
9.5.4	Hoja Características TL052	136
9.6	Anexo 6: Presupuesto	137

1. Introducción

El presente proyecto se enmarca dentro de una serie que persigue crear la infraestructura necesaria para realizar labores de investigación en el ámbito de la física, y en particular del magnetismo, en el campus de Tudela de la UPNa.

Un magnetómetro de gradiente alterno de campo es un instrumento de relativamente reciente diseño e implementación comercial (*circa 1990*), destinado a la determinación del momento magnético de una substancia, en presencia de un campo magnético aplicado, a una temperatura dada.

En esencia, la muestra en análisis está sometida simultáneamente a un campo magnético cuasiestático (típicamente, creado por un electroimán o por una bobina superconductora) y un campo alterno creado por un conjunto de carretes dispuestos de tal forma que, en la posición de la muestra, la amplitud del campo alterno es nula, pero existe un gradiente del campo. En presencia del gradiente, el espécimen magnético experimenta una fuerza proporcional al momento magnético adquirido y al gradiente del campo. Mediante un sistema mecánico apropiado de sujeción de la muestra, esta fuerza se transmite a un voladizo el cual experimenta una variación de su posición y su inclinación. Al focalizar un haz láser sobre el extremo del voladizo, el movimiento de este se transmite también al haz láser, el cual se dirige a un detector segmentado que mide la desviación del haz.

El uso de un gradiente alterno en lugar de continuo permite emplear técnicas lock-in en la detección de la tensión eléctrica y trabajar cerca de la frecuencia de resonancia del sistema transductor-muestra, debido a que la señal aumenta proporcionalmente al factor de resonancia mecánica Q . La sensibilidad [1] del instrumento es $\sim 10^{-11}$ A m²/ Hz.

El proyecto persigue diseñar un sistema mecánico de sujeción de la muestra, que permita desplazamientos $\sim \pm 10$ mm en el plano horizontal X-Y, con precisión ≤ 10 μ m, y en el eje vertical Z, un paso de $\sim \pm 30$ mm, con precisión ≤ 10 μ m. Debe permitir también la rotación alrededor de los ejes X e Y, con precisión de $\sim \pm 0.05^\circ$. El sistema debe estar aislado de vibraciones mecánicas y ruido acústico externo, muy en particular a la frecuencia de trabajo mecanismo opto-mecánico, típicamente un valor comprendido entre 200Hz y 1KHz.

Debe diseñarse un sistema de sujeción muestra-voladizo que permita un intercambio rápido y cómodo de las muestras. Este sistema opto-mecánico de medición deberá ser aislado en una caja de vacío para así evitar la fricción del espécimen con el aire.

Una frecuencia de trabajo de 200 Hz o superior permite realizar un ciclo de histéresis en un tiempo típico de 1-2 min.

La distancia entre la muestra y el voladizo debe ser de unos 30 cm, para permitir una posterior actualización del sistema, que permita medir a temperaturas criogénicas, por lo que el elemento de unión entre muestra y voladizo será una varilla de grafito, vidrio o similar, de grosor pequeño para minimizar la masa que pende del voladizo, que permita una sujeción rígida entre la muestra y el extremo del voladizo.

Debe diseñarse un sistema productor de gradiente de campo en la dirección Z, perpendicular al campo cuasiestático, generado por y compatible con las dimensiones típicas de un electroimán comercial (piezas polares de 4 a 6 pulgadas).

2. Antecedentes

2.1 Magnetómetro de muestra vibrante (VSM)

El VSM es una de las técnicas inductivas más utilizada para la caracterización magnética de materiales, desarrollada por S. Foner en 1959 [2].

La figura 2.1.1 ilustra un esquema del sistema experimental de esta técnica. La muestra magnética a analizar está entre los carretes secundarios, inmersa en el campo magnético producido por el electroimán, en su entre-hierro. Al hacer vibrar la muestra, los carretes secundarios ven un dipolo magnético oscilando y se induce en ellos una fem proporcional al momento magnético adquirido por el espécimen. La muestra está sujeta final de una varilla cuya vibración es producida por un sistema tipo altavoz, alimentado por corriente eléctrica alterna senoidal, de frecuencia controlada. La fem inducida en el sistema de carretes detectores se lleva un amplificador lock-in: un voltímetro, en esencia, que mide tensión eléctrica alterna a frecuencia ajustable, y que discrimina las señales eléctricas de otra frecuencia.

La sensibilidad del instrumento es típicamente $\sim 10^{-9} \text{Am}^2$.

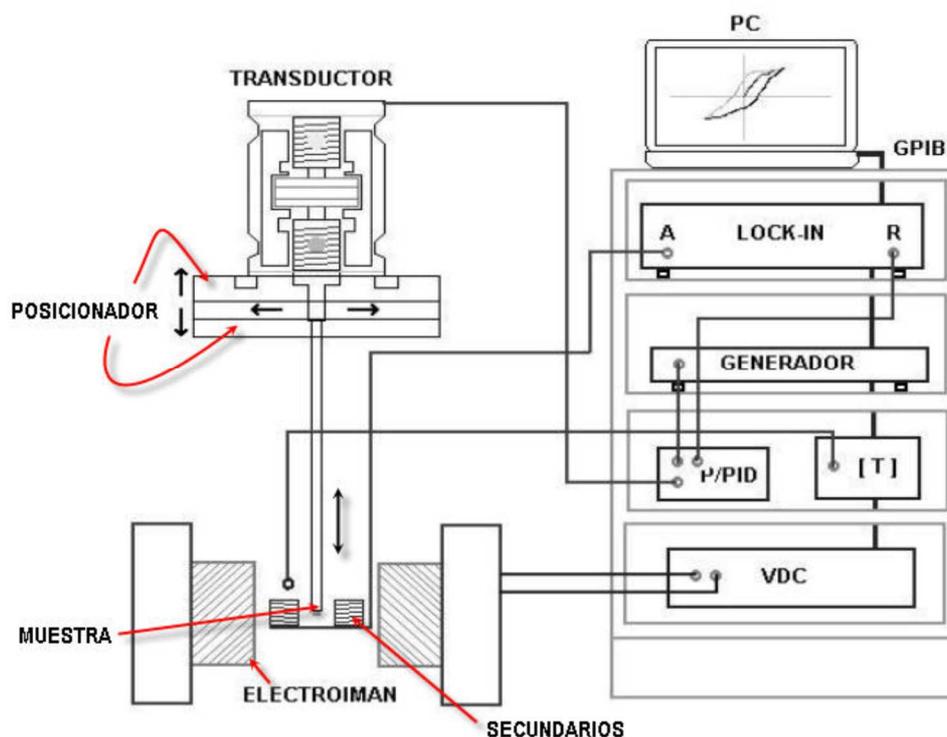


Figura 1. Esquema de un VSM [3]

2.2 Magnetómetro SQUID (Superconducting Quantum Interference Device)

El magnetómetro SQUID es un sistema experimental de extraordinaria sensibilidad para la caracterización magnética. La parte esencial es el detector. Consiste en una unión Josephson [4].

El fundamento del detector está basado en un efecto cuántico. En él, la corriente superconductor en un anillo con una unión Josephson da lugar a la variación del flujo de campo magnético a través del anillo en unidades del cuanto de flujo $\phi_0 = 2e/h \approx 2,07 \times 10^{-15} \text{Wb}$.

Sin embargo, quizá la mayor limitación de este equipo sea su alto coste de mantenimiento ya que trabaja con helio líquido.

2.3 Magnetómetro de gradiente de campo alterno (AGM)

El presente proyecto persigue el diseño del sistema experimental para la construcción de un magnetómetro del tipo AGM. Aunque las ideas originales se remontan a 1970 [5], la comercialización de tal instrumento llegó alrededor de 1990. Este proyecto se basa en las publicaciones de Flanders [1, 6].

La figura 2.3.1 ilustra el esquema experimental de la parte fundamental del instrumento en cuanto a la colocación de la muestra y el sistema detector.

La muestra se encuentra inmersa entre las piezas polares de un electroimán, creador del campo

DC cuasiestático, y a su vez, en el gradiente de un campo alterno producido por un sistema de carretes (GRADIENT COILS). Este produce en su centro, un campo alterno de amplitud nula, pero de máxima variación espacial.

El espécimen magnético, imanado en la dirección horizontal (eje de las piezas polares del electroimán), está sometido a una fuerza vertical debido a la presencia del gradiente del campo. Esta fuerza se transmite a través de la varilla de sujeción al detector-transductor, que es una láminapiezoeléctrica (PZT) biomorfica que genera una tensión eléctrica proporcional a la deformación sufrida como consecuencia del momento flector provocado por el espécimen magnético.

Un campo alterno genera un gradiente alterno y de ahí en el transductor una tensión alterna que se mide mediante la técnica lock-in mencionada anteriormente.

Se puede ampliar esta información consultando los artículos de Flanders, [1, 6].

Magnetómetro de gradiente alterno de campo (AGM)

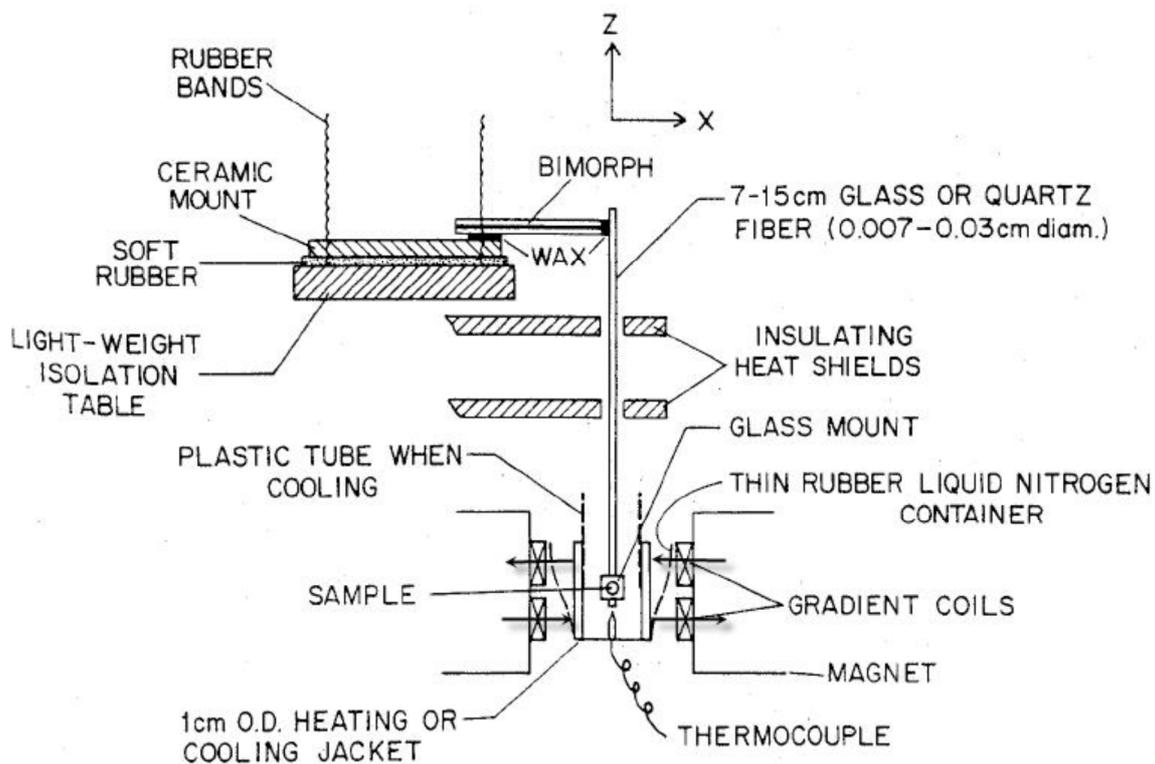


Figura 2. Esquema de un magnetómetro de gradiente alterno de campo (AGM) [1]

3. Fundamento Teórico

3.1 Fuerza experimentada en un espécimen sometido a un gradiente alterno

La energía E de un espécimen magnético en presencia de un campo magnético de inducción \mathbf{B} es

$$E = -\mathbf{m} \cdot \mathbf{B} \quad (1)$$

siendo m el momento magnético adquirido por el espécimen. Si el campo no es uniforme, el espécimen experimenta una fuerza F dada por [7].

Esta fuerza es directamente proporcional con el momento magnético $\vec{m} = \vec{M} \cdot V$ adquirido por la muestra en presencia del campo cuasiestático, que es proporcional al volumen (o la masa) de la muestra y a la imanación \vec{M} adquirida.

$$F = -\nabla \cdot E = \nabla(\mathbf{m} \cdot \mathbf{B}) = (\mathbf{m} \cdot \nabla)\mathbf{B} \quad (2)$$

(\mathbf{m} escalar gradiente vectorial de \mathbf{B}) que expresa que existe fuerza si hay gradiente del campo \mathbf{B} en la dirección de \mathbf{m} .

Por lo tanto, la fuerza experimentada por la muestra en coordenadas cartesianas es la siguiente:

$$\begin{aligned} F_x &= m_x \frac{\partial B_x}{\partial x} + m_y \frac{\partial B_x}{\partial y} + m_z \frac{\partial B_x}{\partial z} \\ F_y &= m_x \frac{\partial B_y}{\partial x} + m_y \frac{\partial B_y}{\partial y} + m_z \frac{\partial B_y}{\partial z} \\ F_z &= m_x \frac{\partial B_z}{\partial x} + m_y \frac{\partial B_z}{\partial y} + m_z \frac{\partial B_z}{\partial z} \end{aligned} \quad (3)$$

para un dipolo magnético puntual y en ausencia de corrientes reales ($\mathbf{j} = 0$): $\nabla \times \mathbf{B} = 0$, es decir $\frac{\partial B_y}{\partial x} = \frac{\partial B_x}{\partial y}$, etc. Si en un punto del espacio existe componente X del campo y varía en la dirección Y, entonces también existe la componente Y del campo y varía en la dirección X. Por tanto:

$$\begin{aligned} F_x &= m_x \frac{\partial B_x}{\partial x} + m_y \frac{\partial B_y}{\partial x} + m_z \frac{\partial B_z}{\partial x} \\ F_y &= m_x \frac{\partial B_x}{\partial y} + m_y \frac{\partial B_y}{\partial y} + m_z \frac{\partial B_z}{\partial y} \\ F_z &= m_x \frac{\partial B_x}{\partial z} + m_y \frac{\partial B_y}{\partial z} + m_z \frac{\partial B_z}{\partial z} \end{aligned} \quad (4)$$

Consideramos un electroimán que crea campo en la dirección de X. Si la muestra se imana sólo en esa dirección, entonces $m_y = m_z = 0$. Existe fuerza en las tres direcciones, proporcional al gradiente del campo y al momento magnético adquirido por la muestra.

En cuanto a la imanación, es el momento magnético por unidad de volumen:

$$\mathbf{M} = \frac{d\mathbf{m}}{dV} \quad (5)$$

Si la imanación del espécimen es uniforme, entonces, simplemente $\mathbf{m} = \mathbf{M} \cdot V$

En un sistema experimental, se mide el momento magnético (las señales medidas son proporcionales al momento magnético, no a la imanación) y después se normaliza a la cantidad de sustancia, bien sea volumen, masa, número de moles, etc.

3.2 Frecuencia de resonancia de un voladizo (*beam*)

La frecuencia de resonancia de un voladizo, uno de cuyos extremos es fijo y el otro libre y en el que se dispone una masa m adicional viene dada por [8,9]:

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3EI}{L^3(m + 0.23m_b)}} \quad (6)$$

donde, con respecto al voladizo, E es su módulo de Young, I su momento de inercia, L la longitud y m_b la masa.

Para un voladizo de sección recta rectangular, de lados a (espesor) y b (ancho), el momento de inercia es $I = \frac{1}{12} b \cdot a^3$, cuya frecuencia de resonancia es

$$f_b = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{a^3 b E}{L^3(m + 0.23m_b)}} \quad (7)$$

4. Diseño del Conjunto Posicionador

Para poder conseguir que el magnetómetro tenga una gran sensibilidad, había que diseñar un conjunto posicionador de alta precisión y con unas características específicas.

La idea era que el conjunto dispusiese de cinco grados de libertad, tres posicionadores lineales en los 3 ejes principales (x,y,z), para el posicionado de la muestra; y dos posicionadores angulares (φ , θ), para la corrección de la perpendicularidad de la varilla con los carretes. El esquema de movimientos del conjunto sería tal que así:

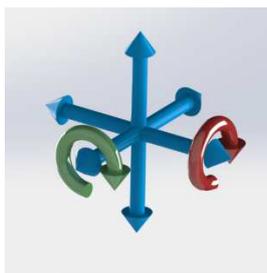


Figura 3. Grados de libertad del sistema posicionador

Todos los movimientos van dirigidos a la muestra, así que el sistema debe ser escalonado, es decir, cada mecanismo dependerá del anterior.

Con esta premisa es lógico pensar que uno de los mecanismos tendrá que sustentar a todos los demás, el primer escalón; el siguiente al resto, y así hasta el último. Así que en el diseño, se tendrá que tener en cuenta para determinar la robustez de cada mecanismo.

El orden que se eligió para los mecanismos fue el siguiente:

MESA Z – MESA X – MESA Y – CONJUNTO ROTACIÓN φ – CONJUNTO ROTACIÓN θ

siendo la Mesa Z el primer escalón, y el conjunto de rotación θ el último. Es decir, la Mesa Z tendría que ser el mecanismo más robusto ya que sustentará a todo el conjunto.

Como ya sabemos, los mecanismos dependen unos de otros, así que a la hora de diseñarlos, el orden a seguir es muy importante.

Es fácil pensar que lo más lógico sea empezar a diseñar por la Mesa Z, ya que es el primer mecanismo y no depende de ningún otro.

Sin embargo, es todo lo contrario. Al ser el mecanismo del que todos los demás dependen, si lo diseñamos primero, después tendremos menos libertad para diseñar el resto. Así que el primero en ser diseñado será el último posicionador rotativo.

Antes de pasar a la explicación del diseño de cada uno de los mecanismos, hay que destacar las tres fases del mismo que hay que seguir:

- Diseño Funcional: Es la parte del diseño que se encarga de que el mecanismo realice su función de manera viable.

- **Diseño de Fabricación:** Consiste en diseñar las piezas y conjuntos para que puedan ser fabricados. Aquí entran en juego las máquinas y herramientas de las que disponemos en el taller de la universidad. La intención es aprovechar al máximo a las mismas, y con ello reducir en la medida de lo posible los elementos comerciales.
- **Diseño de Montaje:** Es otro apartado muy importante. En él, el objetivo será diseñar los conjuntos de una forma que se puedan ensamblar.

Estas tres fases no deben ser llevadas a cabo en serie, sino en paralelo, ya que de lo contrario tendremos que rectificar muchas veces.

4.1 Diseño del Posicionador Rotativo

4.1.1 Explicación del mecanismo

Como se ha dicho antes, el objetivo del posicionador rotativo es el de corregir la perpendicularidad de la muestra con las bobinas. Ya que el sistema va a tener dos grados de libertad de giro, se utilizará el mismo diseño para los mismos.

La precisión que se quiere conseguir es de 1mrad, ya que la longitud de la muestra al posicionador va a ser como máximo de 0.3m, y queremos que la muestra no tenga un desplazamiento mayor a 0.3mm. El desplazamiento de la muestra es, realmente, un arco de circunferencia, pero lo aproximamos a un desplazamiento lineal (a):

$$a = \theta \times L \quad (2)$$

Siendo θ el ángulo de giro del posicionador y L la longitud del brazo.

Ya que el accionamiento va a ser manual, y el ser humano no es capaz de realizar giros tan pequeños, es necesario diseñar un mecanismo reductor.

Sin ninguna duda, el mecanismo reductor por excelencia es el tornillo sinfín-corona, ya que por cada vuelta del tornillo, la corona sólo da el giro de un diente, siendo así la relación de transmisión de 1/número de dientes.

En primer lugar, se buscó información sobre posicionadores rotativos manuales de gran precisión. Las casas que ofrecen estos mecanismos son las especializadas en óptica.

Los posicionadores rotativos manuales se basan en mecanismos reductores de tornillo sinfín-corona con una gran rango de precisiones, desde los 20arcmin hasta los 2.4arcmin, siendo los primeros los más baratos (70€) y los últimos los más caros (500€), aunque estos últimos están provistos de dos grados de libertad de giro.



Figura 4. Posicionadores Rotativos comerciales

Ya que estos mecanismos eran demasiado caros, se decidió fabricar uno con la misma precisión, pero mucho más barato. El diseño iba a consistir en una reductora de sinfín-corona, así que lo primero en ser diseñado sería el propio mecanismo de transmisión.

Para decidir la relación de transmisión se diseñó primero la pieza con la que se iba a manipular. Consiste en una simple ruleta de unos 25mm de diámetro.

Debido a que para el posicionamiento de la muestra no se necesitan medidas relativas, es decir, se va desplazando hasta que la medida del campo magnético nos muestre que está correctamente posicionada, no es necesario graduar la ruleta que se va a manipular. Realmente la precisión final del dispositivo la pone el usuario que la está utilizando, ya que la mano de éste es la que está desplazando a la muestra de forma continua.

Por lo tanto se decidió realizar una prueba empírica de precisión humana. Con un cilindro de las mismas dimensiones que iba a tener la ruleta del posicionador comenzamos a darle pequeños giros con la mano, tan pequeños como fuera posible, hasta dar un giro completo. Se realizó la misma acción 6 veces para sacar los valores medios.

Tabla 1: Valores medios de la precisión humana

	Nº DE MOVIMIENTOS
1ª PRUEBA	62
2ª PRUEBA	69
3ª PRUEBA	72
4ª PRUEBA	62
5ª PRUEBA	58
6ª PRUEBA	65
MEDIA	64,50
DESVIACIÓN TÍPICA	5,13

Como se puede observar, los valores rondan entre los 60 y 70 movimientos, siendo el valor medio 64.50. Ya que es un valor medio, conviene redondear a la baja con el fin de tener un *colchón* en cuanto a la precisión del usuario. Ya que la desviación típica no es muy elevada, 5.13, el valor determinado para realizar los cálculos del mecanismo será de 60, es decir, se asemejaría a un accionador con 60 divisiones.

Por lo tanto seguidamente se procedió a realizar los cálculos del mecanismo sinfín-corona para determinar el número de dientes de la corona. Todos los cálculos se explican de forma detallada en el Anexo 6.2: Cálculos.

En el resultado obtenido se determina que el número mínimo de dientes que debe tener la corona es de 105, por lo tanto la elección será de 120 dientes ya que, además de ser un número bastante habitual en los engranajes comerciales, al ser mayor que el resultado obtenido, se mejora notablemente la precisión del mecanismo.

Sabiendo el número de dientes necesario, solamente faltaba saber el módulo para realizar todos los cálculos del mecanismo.

Ya que $D_p = m \cdot Z$, se debía llegar a un compromiso entre que la corona no sea demasiado grande, para que el mecanismo no sea demasiado pesado, pero tampoco demasiado pequeña, ya que de ser así no realizaría un buen engrane al tener un número de dientes tan elevado.

El módulo que se eligió fue de 0.5mm, un valor bastante típico, así que:

$$D_p = 0.5 \cdot 120 = 60mm \quad (3)$$

Una vez elegido y validado el módulo, se pasó a realizar todos los cálculos necesarios. Estos cálculos se llevaron a cabo siguiendo el “Libro de Taller” de A. L. Casillas [14], el libro que la mayoría de profesionales de mecanizado tienen en el taller. Todos los cálculos se explican de forma detallada en el *Anexo 6.2: Cálculos*.

4.1.2 *Diseño 3D*

Con todos los cálculos de las medidas realizados se procedió a comenzar con el diseño del mecanismo. El software utilizado para el diseño de todas las piezas fue SolidWorks, un programa de diseño paramétrico 3D.

La primera pieza que se diseñó fue la corona, ya que es la más complicada y conviene que el diseño del conjunto se haga en torno a ella. Utilizando las medidas calculadas anteriormente se procedió a realizar el diseño 3D.

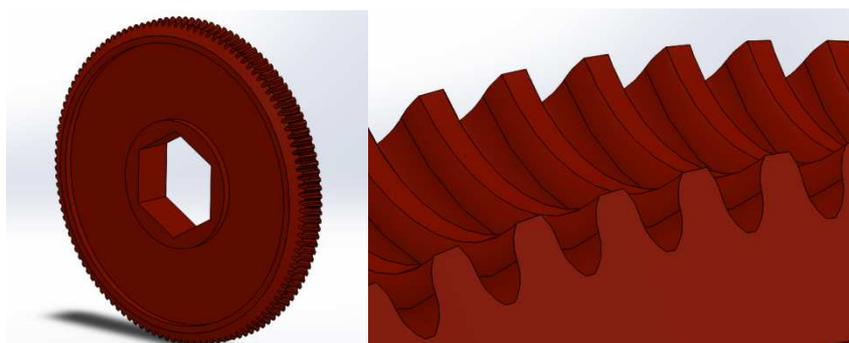


Figura 5. Diseño 3D de la corona

El agujero interior tiene forma hexagonal, ya que se quiere que esté acoplado rígidamente al rotor, del que se hablará a continuación, para que tengan un giro solidario.

Una vez diseñada la corona es lógico seguir con la otra parte del mecanismo, es decir, el tornillo sinfín, utilizando también las medidas calculadas con el libro de taller.

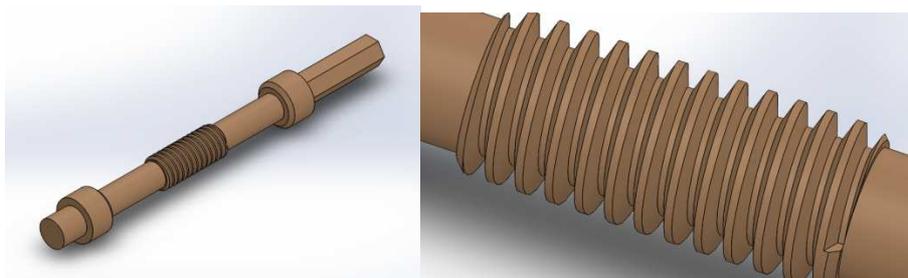


Figura 6. Diseño 3D del tornillo sinfín

Por la misma razón que en la corona, el extremo es hexagonal, ya que se quiere acoplar a la ruleta con la que se accionará manualmente el mecanismo.

A continuación se procedió a diseñar el bloque del posicionador rotativo, es decir, el elemento que sustentará al mecanismo propiamente dicho. Esta pieza fue diseñada en principio para que el tornillo sinfín tuviese un acoplamiento móvil, es decir, que se pudiese ajustar. Esto sería posible realizando unos *colisos* que permitan el desplazamiento de los acoples del sinfín, los cuales se muestran en las siguientes imágenes:

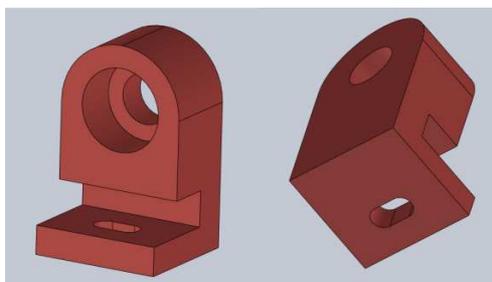


Figura 7. Diseño 3D de los bloqueadores del sinfín

Con estas piezas se deseaba reducir el error que se pudiera ocasionar a la hora de la fabricación del resto de los elementos, como se puede apreciar en la segunda figura:

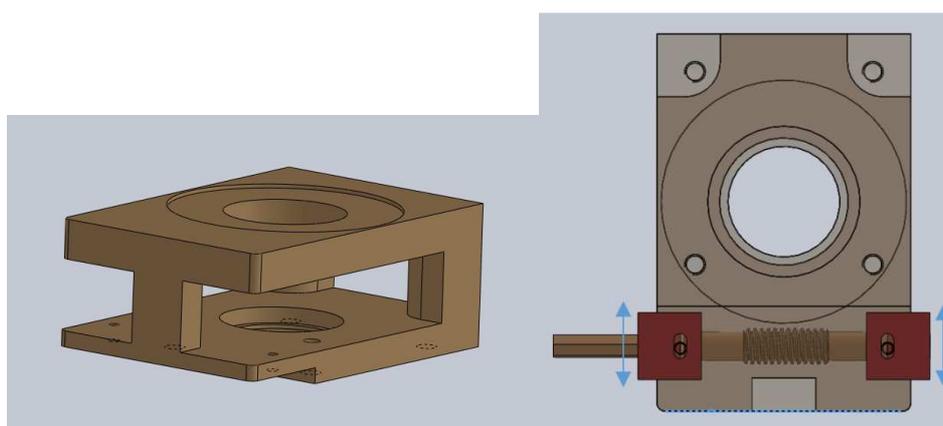


Figura 8.a) Diseño 3D del bloque b) Posicionamiento de los bloqueadores

Esta solución podía subsanar los errores que se pudieran cometer en la fabricación del conjunto, pero también es cierto que añadir más acoplamientos reduciría la fidelidad de las medidas, por lo tanto, es posible que el error se agravara aún más.

Magnetómetro de gradiente alterno de campo (AGM)

Así que definitivamente se decidió diseñar un bloque en el que se alojara al tornillo sinfín de forma fija. Se tenía menor rango de error, pero si se diseñaba bien no había ninguna razón por la fuera a fallar.

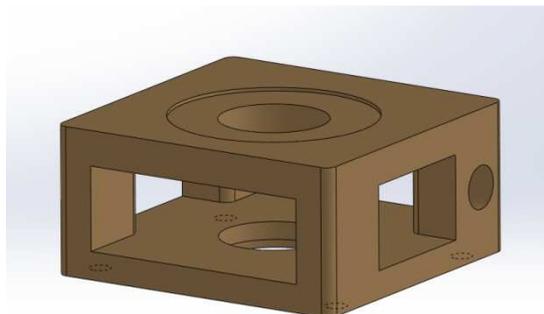


Figura 9. Diseño definitivo del bloque

La abertura que se sitúa más cercana en la segunda foto es más ancha que las demás, con la intención de poder introducir la rueda en el interior del bloque, pero quitándole a este la menor rigidez posible.

A continuación se muestra una imagen donde se puede apreciar el procedimiento que se debe seguir a la hora de montar los elementos hasta ahora explicados:

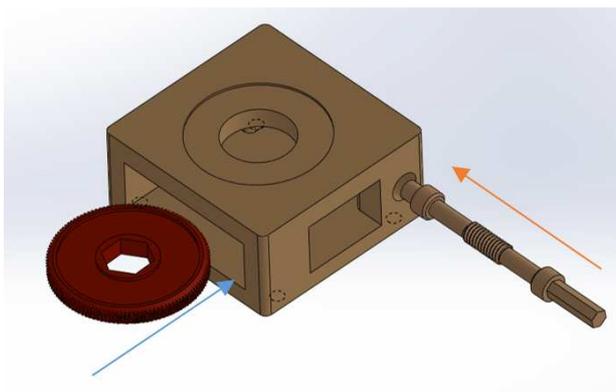


Figura 10. Montaje del mecanismo

Seguidamente se pasó a diseñar el rotor del mecanismo rotativo. Esta pieza será la encargada de transmitir el movimiento de la corona directamente al elemento que se desee.

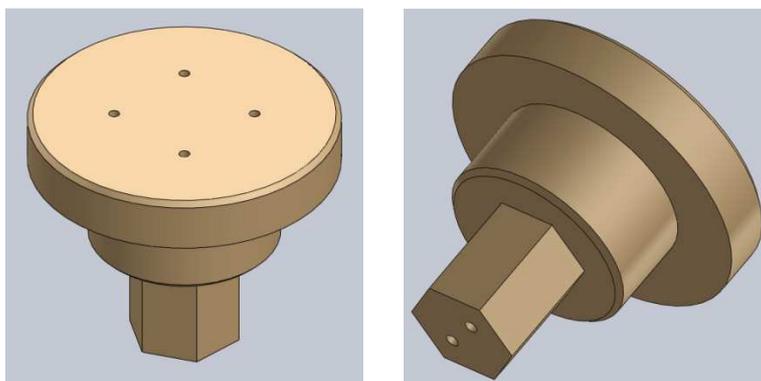


Figura 11. Diseño 3D del rotor

Como se ha comentado antes, el rotor va acoplado rígidamente a la corona mediante la forma hexagonal de su extremo, que impide el giro uno respecto al otro.

A continuación se pasó a diseñar la tapa. La tapa tiene como objetivo sustentar al rotor y que el mecanismo no se desmorone. En principio se pensó diseñarla con una mini cajera con forma hexagonal para restringir el giro respecto a éste y que así el tornillo que lo sostiene no se afloje.

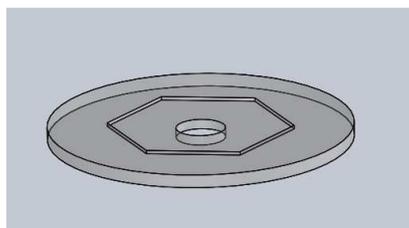


Figura 12. Diseño 3D de la tapa

Pero se pensó que esa forma daría bastantes problemas a la hora de fabricarla, por lo que se pensó hacerla totalmente plana con dos agujeros para acoplarla con dos tornillos y así lograr que no se aflojen.

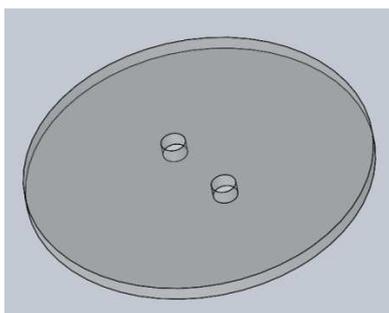


Figura 13. Diseño definitivo de la tapa

Por último, se pasó a diseñar la ruleta que accionará al tornillo sinfín. Se trata de una pieza cilíndrica con un alojamiento hexagonal y un agujero para alojar un prisionero. Esta pieza, como se ha dicho antes, tiene como objetivo hacer rotar al sinfín, siendo accionado manualmente.

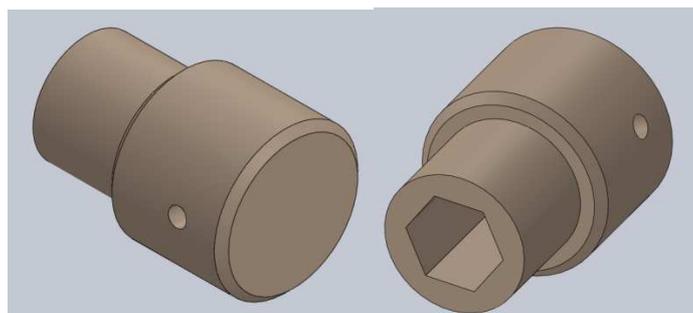


Figura 14. Diseño 3D del accionador manual

Con todas las piezas del conjunto diseñadas se procedió a realizar el ensamblaje del posicionador rotativo. A continuación se muestra el conjunto montado en el software SolidWorks.

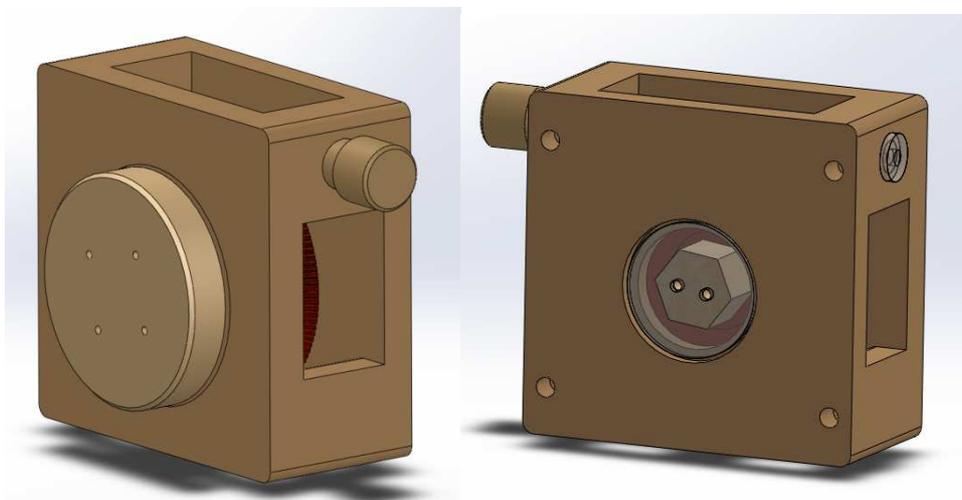


Figura 15. Diseño 3D del posicionador rotativo

4.2 Diseño de la mesa X-Y

Una vez diseñados los posicionadores rotativos, se pasó a diseñar la mesa de desplazamiento lineal X-Y. Ya que ésta ya depende de los posicionadores rotativos ya diseñados, se deberán tener en cuenta para que las dimensiones sean proporcionales.

4.2.1 Explicación del mecanismo

La idea principal para el diseño de esta mesa era la de fabricarla con un mecanismo de guías, es decir, una placa inferior fija, otra intermedia con desplazamiento X, y otra superior con desplazamiento Y.

El desplazamiento total de las placas no tiene por qué ser muy grande, ya que la función del mecanismo no es desplazar a la muestra, sino ajustarla a la posición exacta. Por lo tanto, se decidió que el desplazamiento total sería de 10mm, más que suficiente para el posicionamiento de la muestra.

El accionamiento de las guías será realizado mediante micrómetros de precisión, cuya apreciación mínima es 0.01mm.

Cabe destacar que será necesario fabricar una pieza de acoplamiento entre la mesa y el posicionador rotativo.

4.2.2 Diseño 3D

La idea fue realizar dos guías hembra, inferior y superior, y otra guía macho intermedia, siendo la inferior fija, y las otras dos móviles. De esta forma se conseguiría movimiento en las dos direcciones con la mínima cantidad de elementos. En la siguiente imagen se muestra la idea principal del mecanismo.

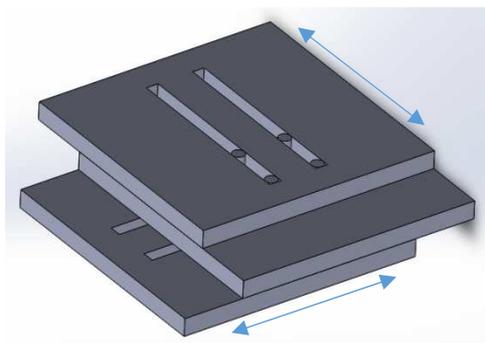


Figura 16. Funcionamiento de la guías

Las dos placas de los extremos tienen dos ranuras longitudinales cada una. Estas placas están dispuestas de forma que las ranuras de una y otra quedan perpendiculares. La placa macho, tiene cuatro pivotes a cada lado formando un cuadrado. Esta disposición hace que sea posible realizar los dos movimientos con sólo tres placas.

Una vez diseñado el mecanismo, se procedió a diseñar la forma de accionamiento. Este debía ser a partir de micrómetros de precisión, con lo que era necesario diseñar el acoplamiento. En primer lugar se pensó añadir a las placas inferior e intermedia unas "orejas" las cuales sustentarán a los micrómetros, y así transmitir el movimiento a las placas directamente superiores a estas, es decir, intermedia y superior.

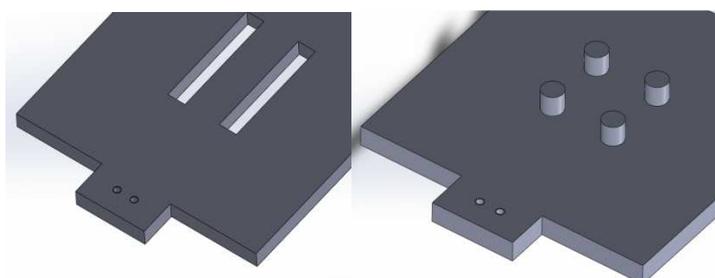


Figura 17. Diseño 3D de las guías

A cada una de ellas se le acoplarán por medio de tornillos el soporte del micrómetro. Este consiste en una pieza con un agujero interior en la que se alojará el micrómetro. También posee un escalón sobre el que apoyará la oreja de la placa a la que se quiera fijar y en la que se alojará un tornillo prisionero para realizar el bloqueo del micrómetro respecto al soporte.

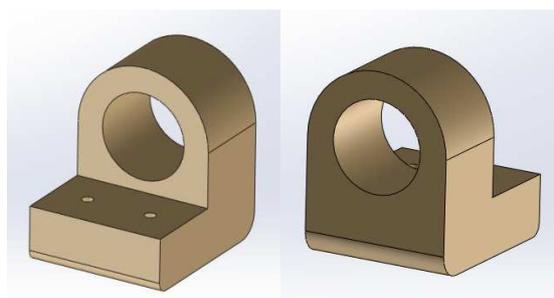


Figura 18 Diseño 3D del soporte para el micrómetro

Con estas piezas diseñadas, ya tenemos todo lo necesario para realizar el movimiento del mecanismo, excepto los micrómetros, que son elementos comerciales.

Los micrómetros fueron comprados antes de pasar a la fase de fabricación, ya que sin ellos era imposible diseñar el resto del conjunto.

La elección de los micrómetros se basó en tres parámetros: la precisión, el volumen y la longitud efectiva de los micrómetros. Era necesaria una precisión de al menos una centésima de milímetro, la precisión típica de los micrómetros convencionales. La hoja de datos de los micrómetros aparece de forma detallada en el Anexo 3: Catálogos.

La longitud efectiva no es un gran problema, ya que, como se trata de un sistema que sólo busca ajustar la posición de la muestra, bastaría con unos pocos milímetros de longitud. Con estas premisas sólo faltaba elegir un micrómetro lo suficientemente grande para que tuviera una longitud efectiva, pero no demasiado, porque es importante que el micrómetro no pese en exceso. En la imagen se puede observar la forma con la que se acoplan los micrómetros en el conjunto.

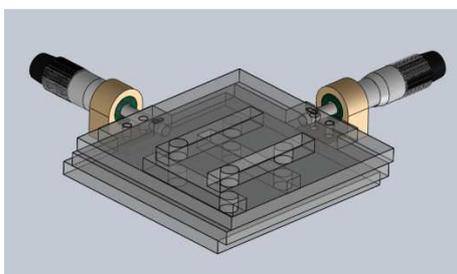


Figura 19. Diseño 3D del acoplamiento guías-micrómetros

Por último, queda diseñar la pieza que acopla el conjunto de rotación a la mesa X-Y.

Consiste en una pieza de metacrilato doblada a 90 grados, la cual sustenta a todo el conjunto de rotación.

En las siguientes imágenes podemos ver la pieza de acoplamiento y el conjunto completo.

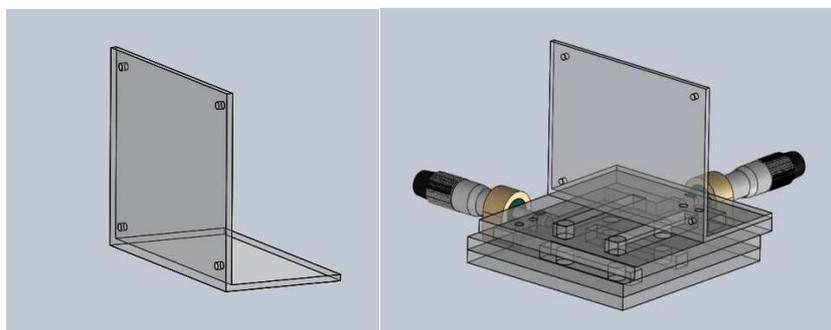


Figura 20. a) Diseño 3D del soporte para rotativo b) Diseño 3D del conjunto X-Y

4.3 Diseño de la mesa Z

En este apartado se va a explicar el diseño del último subconjunto del conjunto posicionador principal, la mesa z.

Una vez diseñados el resto de los subconjuntos, se procedió a diseñar la mesa z en compromiso con lo ya diseñado. La mesa debía sustentar al resto del conjunto, con lo cual se pensó diseñar un sistema robusto a la vez que preciso.

4.3.1 Elección del mecanismo

A la hora de elegir el mecanismo de la mesa z había que tener en cuenta la orientación que iba a tener. La idea era que una pletina robusta horizontal sustentara al resto del conjunto, por lo tanto el mecanismo que se eligió fue un husillo y tuerca-brida vertical. El funcionamiento del mecanismo se conseguirá a partir de unas guías que bloquearán tanto el giro de la tuerca como el de la pletina, las cuales con el giro del husillo ascenderán o descenderán, y con ellas el resto del conjunto.

Con estas premisas, se decidió que se compraría el mecanismo husillo-tuerca, por lo tanto sería el elemento restrictivo del subconjunto. La hoja de datos del conjunto husillo-tuerca aparece de forma detallada en el *Anexo 3: Catálogos*. En las siguientes imágenes se muestran tanto el husillo como la tuerca-brida.

4.3.2 Diseño 3D

La primera pieza en ser diseñada con el programa SolidWorks fue el husillo comercial, junto con su correspondiente tuerca-brida.

La casa Iigus, la cual es el proveedor de nuestro husillo, disponía de formato CAD de todos sus elementos comerciales, por lo tanto sólo hizo falta descargar los archivos de las dos piezas.

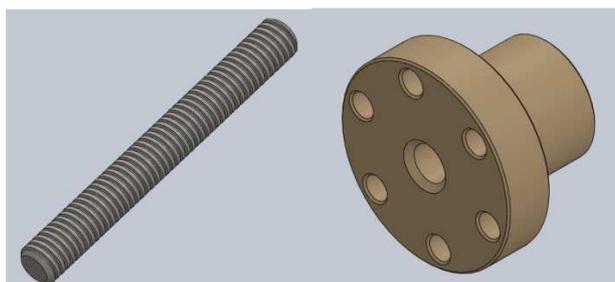


Figura 21. Mecanismo husillo-tuerca (comerciales)

Una vez diseñadas las piezas del propio mecanismo se procedió a diseñar el resto de componentes de la mesa z. La siguiente pieza que se diseñó fue la pletina soporte, es decir, la propia mesa. Se decidió que tuviera un espesor de 10mm, ya que eso sería suficiente no solo para resistir el peso del resto de componentes, también para que no transmitiese vibraciones a estos.

Magnetómetro de gradiente alterno de campo (AGM)

La pletina se diseñó de tal forma que fuese atravesada por el husillo y las guías de forma perpendicular, y también debería tener los agujeros para poder ser sujeta a la tuerca-brida por medio de tornillos.

A continuación se muestra el diseño 3D de la pletina soporte y del montaje de la misma con el mecanismo husillo tuerca:

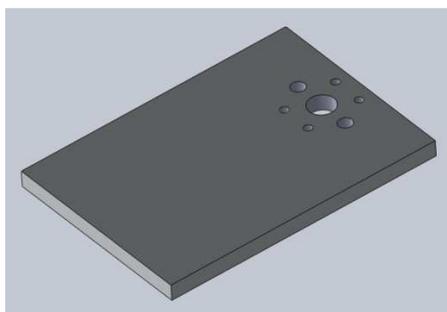


Figura 22. Diseño 3D de la mesa base

Seguidamente se pensó en comprar barra calibrada de 6mm de acero, ya que los agujeros de la tuerca-brida son de 6mm y con ellos se ajustará a las guías para que deslice sobre ellas.

A continuación se muestra el conjunto con las dos guías de acero:

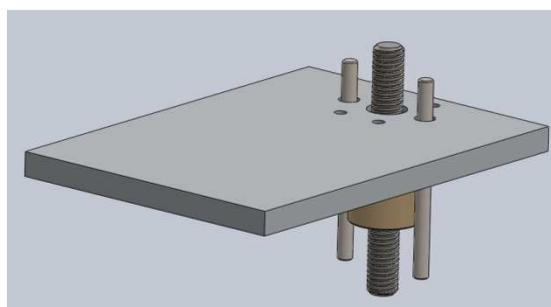


Figura 23. Montaje de la mesa con el mecanismo y las guías

Por último quedaba diseñar el cuerpo de la mesa z, es decir, los elementos que se encargarán de sustentar a la mesa, y con ello, a todo el conjunto posicionador.

En primer lugar se pensó en mecanizar dos piezas de aluminio de tan forma que, colocadas una en cada extremo del husillo y fijadas a una pletina rígida, formarían el soporte de la mesa. También se pensó en el elemento de accionamiento, siendo éste una ruleta manual acoplada al husillo rígidamente atravesando el soporte inferior. En las siguientes imágenes se muestra el conjunto mesa z completa:

Magnetómetro de gradiente alterno de campo (AGM)

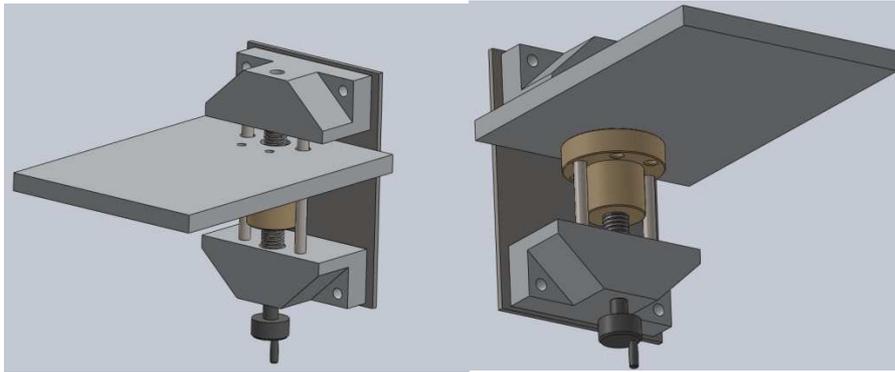


Figura 24. Conjunto mesa Z

Con el diseño del último subconjunto se dio por finalizado el diseño del sistema posicionador, dando paso a la posterior fabricación del mismo. A continuación se muestra el resultado del diseño 3D del sistema posicionador completo:

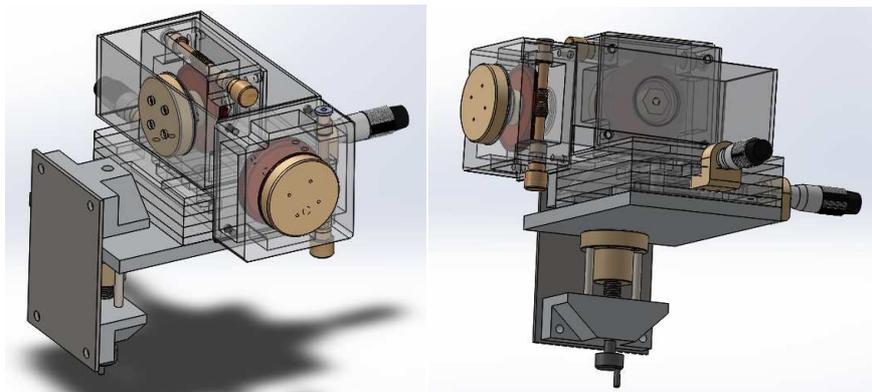


Figura 25. Conjunto posicionador completo

5. Fabricación del Sistema Posicionador

Una vez se tuvo diseñado el sistema posicionador completo se pasó a fabricarlo. Cabe destacar que es evidente que el primer diseño puede sufrir variaciones a la hora de fabricarlo, ya que la propia fabricación sirve también para realizar mejoras del primer diseño al ser un prototipo funcional.

En el apartado de diseño del sistema posicionador se explicó el orden a seguir con el diseño de los subconjuntos ya que, al depender unos de otros, era importante realizarlo en el orden correcto. Siendo así también en la fabricación, pero con unos criterios diferentes a la hora de elegir dicho orden.

Fueron varios los criterios que se siguieron a la hora de fabricar el sistema posicionador. El más importante de ellos fue, obviamente, el coste de fabricación de cada subconjunto, es decir, el subconjunto más caro sería el último en ser fabricado. También influyeron los tiempos de entrega de los elementos comerciales y la dificultad de la fabricación de cada subconjunto, siendo los más fáciles los primeros en ser construidos.

Por lo tanto, el primer subconjunto que se decidió fabricar fue la mesa X-Y, ya que, aun teniendo los micrómetros como elementos comerciales, el tiempo de entrega sería menor que el tiempo de fabricación de la mesa, y estos son los últimos elementos que se acoplarían. Seguidamente sería fabricada la mesa Z, por ser mayor la dificultad de su fabricación y mayores los tiempos de entrega de los elementos comerciales (husillo-tuerca). Por último se fabricarán los dos posicionadores rotativos al ser estos los más caros y más difíciles de fabricar, ya que serán fabricados con la impresora 3D de poliamida (PA 2200).

5.1 Fabricación de la mesa X-Y

Con el conjunto diseñado completamente, se pasó a fabricar la Mesa X-Y en primer lugar.

Se empezó fabricando las propias mesas guía, ya que era necesario testar el mecanismo de deslizamiento. Se decidió que el material con el que se fabricarían las placas guía sería metacrilato translúcido, ya que tiene una densidad muy baja ($1,18 \text{ g/cm}^3$) en comparación con su resistencia a rotura, siete veces mayor que la del vidrio.

Aunque el metacrilato (PMMA) tenga uno de los mayores coeficientes de fricción de todos los plásticos (0.5), como se puede observar en la tabla, no es un problema ya que entre las placas se colocaran unas arandelas antifricción de acetato, con un coeficiente de fricción de entre 0,1 a 0,3.

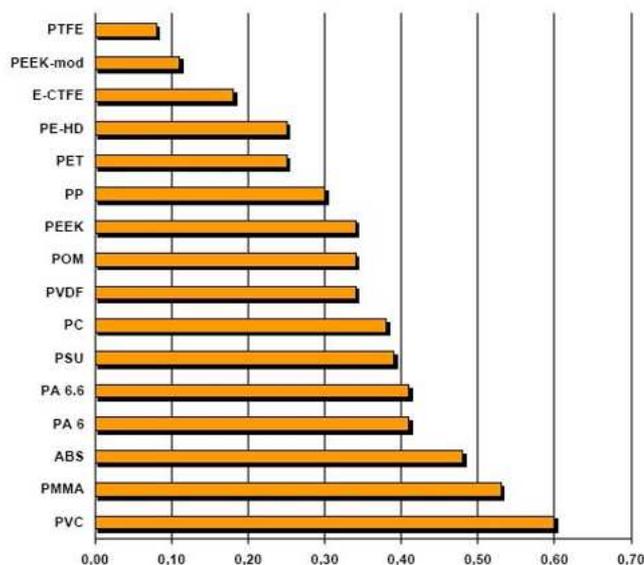


Figura 26. Gráfico con los coeficientes de rozamiento de los plásticos [10]

Con el material ya elegido se pasó a fabricar las placas de metacrilato. El procedimiento se llevó a cabo con la cortadora láser Spirit GLS, de la que disponemos en el taller de la universidad. La elección de esta máquina se basó en la rapidez de operación de la misma y en que, al ser las placas planas, no era necesario mecanizar una pieza sólida, sino que bastaba con cortar la placa plana de metacrilato.

Para la fabricación de las placas con la cortadora láser fue necesario realizar un dibujo 2D con el software AutoCad, para crear un archivo .dxf y exportarlo a la cortadora.

A continuación se muestra el dibujo realizado en AutoCad:

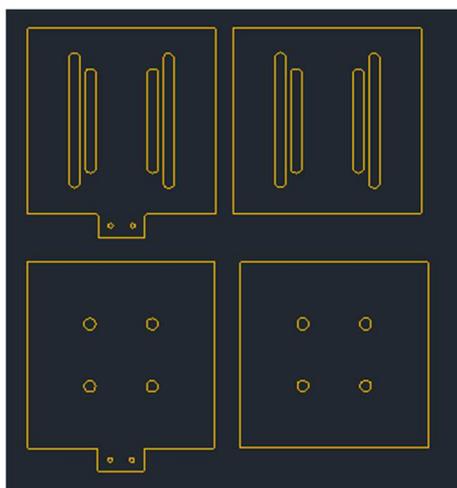


Figura 27. Placas para mesa XY

Las placas a cortar tenían un espesor de 5mm, así que amoldándonos a este espesor fueron dispuestas las placas de la forma adecuada, uniendo rígidamente dos de ellas cuando fuera necesario. La placa fija, la inferior, estaba fabricada con una sola capa de metacrilato, a la que se acoplará el primer micrómetro.

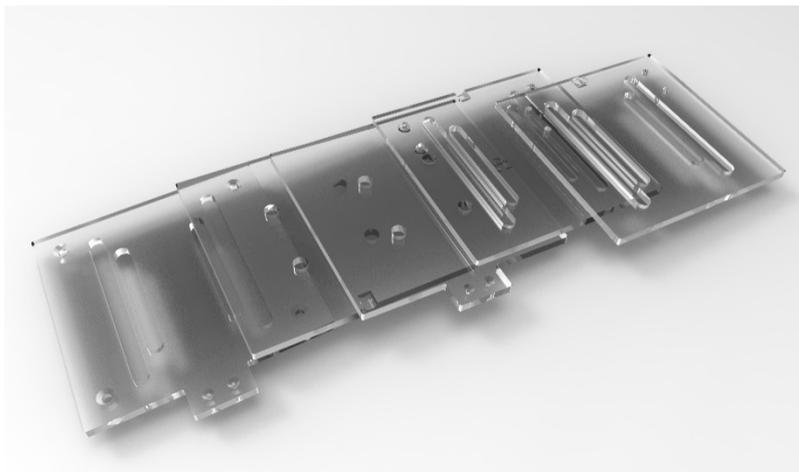


Figura 28. Renderizado de las placas guía

La placa intermedia, que es móvil, estará dispuesta de dos capas de metacrilato unidas rígidamente, ya que los 5mm de espesor son insuficientes para realizar el acople con el que el micrómetro desplazará a la placa, el cual se explicará más adelante. Además, la capa inferior de la placa inferior también estará dispuesta del saliente para acoplar el segundo micrómetro. Por último, la placa superior, también móvil, estará dispuesta también de dos capas de metacrilato, por la misma razón que antes.

Por lo tanto, en total serán cinco placas de metacrilato de 5mm de espesor, cuatro de ellas unidas rígidamente dos a dos.

Seguidamente se pasó a fabricar los bulones que se encargarían de deslizar entre las guías. En un primer diseño se pensó realizarlos en un torno para que fueran cilíndricos y así reducir el área de contacto y con ello la fricción. Además de eso debía de disponer de unas arandelas en sus dos extremos acopladas con tornillos para que las placas del conjunto se mantuvieran unidas.

Esta idea cambió a la hora de fabricar el conjunto. Existen unos elementos de unión llamados ensambladores, los cuales son simplemente un cilindro liso metálico dispuesto de una rosca interior y pasante a la que se atornilla un tornillo en cada uno de sus extremos. Estos elementos eran los idóneos para el mecanismo de guías. Necesitamos cuatro ensambladores de 6mm de diámetro y de 25mm de longitud, ya que son cinco placas de 5mm cada una.

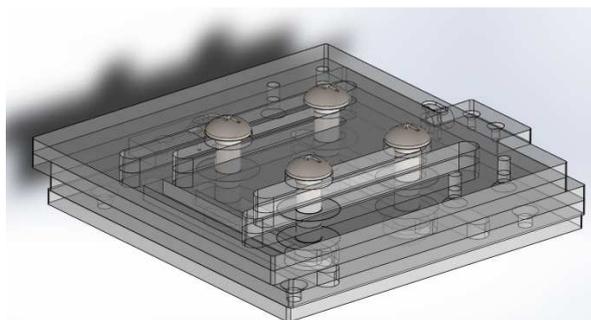


Figura 29. Montaje de las guías con los ensambladores

Magnetómetro de gradiente alterno de campo (AGM)

Una vez fabricadas las guías, se pasó a fabricar los soportes de los micrómetros. Esto se llevó a cabo con la impresora 3D de hilo caliente HP Designjet Color 3D, en ABS.

Con los soportes fabricados, pasamos a realizar el acople con los micrómetros. En primer lugar se tenía que modificar el micrómetro, ya que estos están dispuestos de una parte fija para introducir la pieza a medir entre esta y la parte móvil. Por lo tanto lo primero que se hizo fue desprender al micrómetro de la parte fija o *arco*, tal y como se muestra en la imagen:

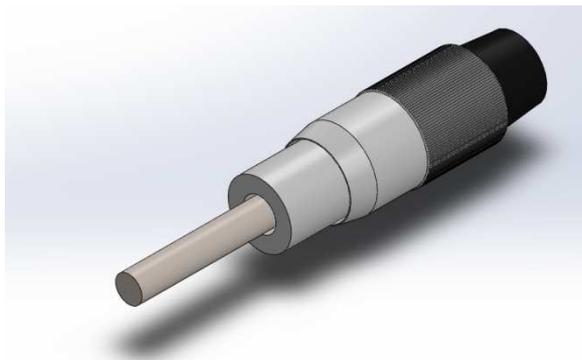


Figura 30. Micrómetro modificado

Con el micrómetro ya modificado y acoplado, nos dimos cuenta de un problema, y era que el eje móvil del micrómetro giraba solidario a la ruleta manual, con lo que el acople con las guías no sería tan sencillo.

La idea era introducir el eje móvil del micrómetro por uno de los laterales de la guía; así empujaría y tiraría de la guía según el giro que nosotros le demos. Siendo que el eje gira solidario al mando manual, la solución que se pensó fue, realizar un alojamiento en el centro del lateral de la guía, para que el eje del micrómetro girase loco, y hacer una ranura en el mismo para que así, con una grapa de alambre de acero, impida que el eje se salga del alojamiento. De esta forma se permite el giro del eje respecto a la guía, desplazándose longitudinalmente de forma solidaria.

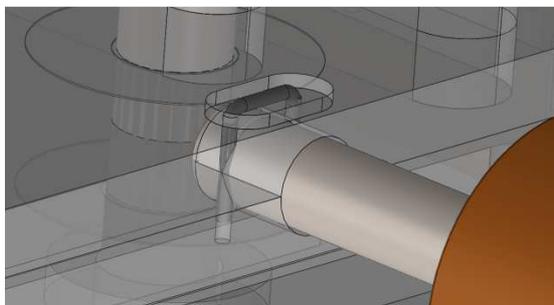


Figura 31. Sistema de acople del eje del micrómetro con las guías

Por último, se diseñó la pieza que acopla al primer posicionador rotativo con la mesa xy. En el primer diseño se pensó en una pletina de plástico doblada a escuadra para conseguir la perpendicularidad. Esta pletina iría calzada con unos calces, también de plástico, para que la

pletina doblada no colisiones con las arandelas que sustentaban a las guían, o en el diseño definitivo, con las cabezas de los tornillos ensambladores. Estos calces, al final, no serán utilizados y para sustituirlos, la pletina a escuadra tendrá el diseño que se muestra a continuación, con sus respectivas escuadras para aumentar su rigidez:

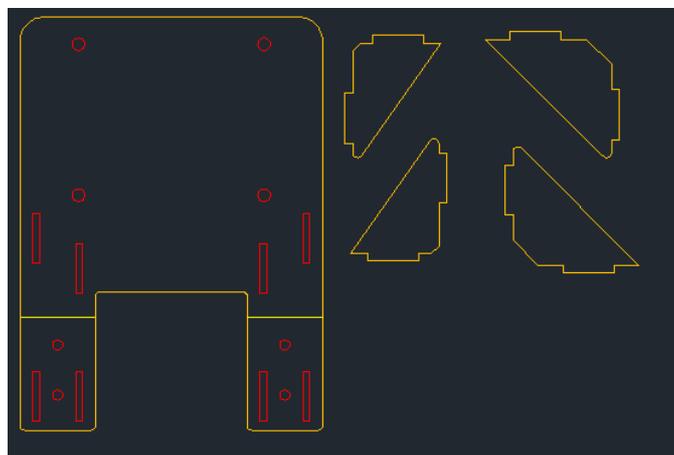


Figura 32. Pletina soporte y escuadras

Siendo doblada por las líneas amarillas se consigue que las cabezas de los ensambladores no choquen con la pletina.

A continuación se muestra el conjunto Mesa X-Y completamente montado, tanto en archivo digital 3D como en físico.

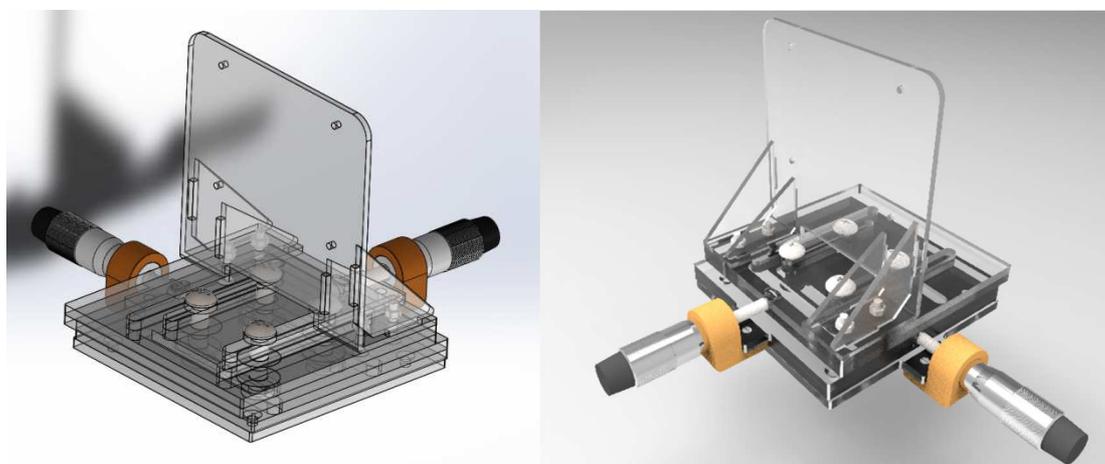


Figura 33. a) Diseño 3D del conjunto mesa X-Y definitivo b) Renderizado mesa X-Y

5.2 Fabricación de la mesa Z

En este apartado se va a explicar los procedimientos que se siguieron para la fabricación de la mesa vertical o mesa z. Como se ha explicado en el apartado de diseño, el mecanismo encargado de transmitir el movimiento a la mesa va a ser un husillo-tuerca. Al ser estos los

elementos comerciales del conjunto, además de la varilla calibrada para fabricar las guías, lo primero fue comprarlos y a partir de ellos realizar el diseño del resto del conjunto.

Una vez comprados el husillo y la tuerca se pasó a diseñar el soporte del conjunto, es decir, la mesa propiamente dicha.

Ya que era el elemento que más peso iba a sustentar, se necesitaba una placa rígida, por lo que se decidió utilizar pletina de aluminio de 10mm de espesor.

El diseño final de la mesa no tiene muchas modificaciones respecto al primer diseño; solamente unas ranuras longitudinales para que las cabezas inferiores de los ensambladores puedan alojarse sin colisionar.

El diseño se realizó en AutoCAD, para posteriormente mandar el archivo a la cortadora de agua, ya que la cortadora láser no es capaz de cortar metales, y mucho menos de espesores tan grandes.

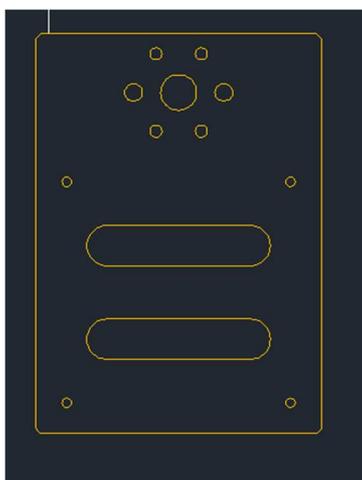


Figura 34. Mesa base del conjunto Z

Además de la pletina base, también se fabricaron con la cortadora de agua las piezas que sustentan al husillo con el soporte del conjunto. Consisten en dos parejas de piezas las cuales ensambladas abrazan al husillo permitiendo su giro, pero impidiendo su desplazamiento longitudinal respecto al soporte principal. Se realizaron unas ranuras en los extremos del husillo en el torno Pinacho SP/165, para el alojamiento de estas piezas.

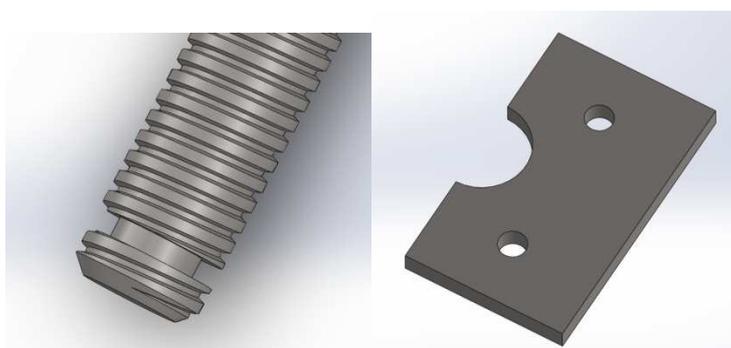


Figura 35. a) Ranuras en el husillo b) Abrazadera para husillo

Teniendo la placa y los soportes fabricados y todos los elementos comerciales, se pasó a fabricar la pieza soporte, la cual sustentará a todo el conjunto posicionador completo.

En el primer diseño se pensó realizar este soporte en dos piezas separadas, una inferior y otra superior. Además de la dificultad de fabricar esas piezas, no era una buena solución ya que al ser dos piezas, la rigidez de las mismas como conjunto podía no ser suficiente.

De modo que se pensó en otra solución. Esta fue la de diseñar una pletina delgada de acero y después doblarla en forma de U. A continuación se muestra el diseño en AutoCAD de la pletina, siendo las líneas amarillas las que determinan la posición del pliegue.

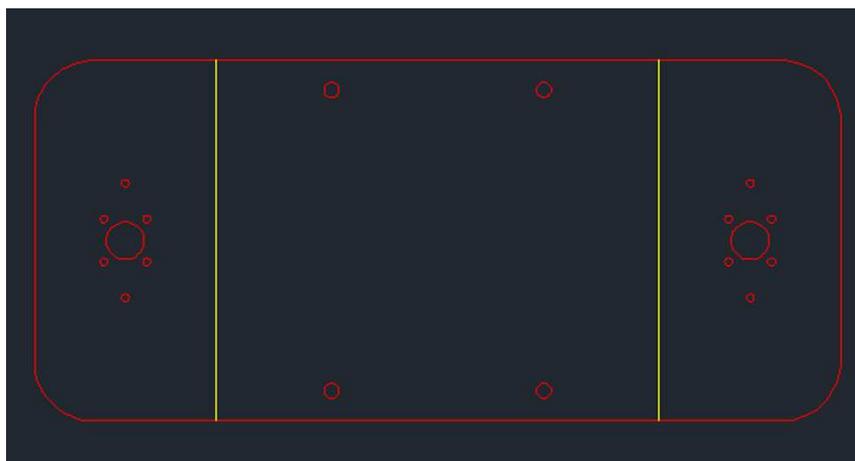


Figura 36. Placa soporte mesa Z

Esta pieza también fue fabricada en la cortadora de agua, ya que era de vital importancia el correcto posicionamiento de los agujeros para que el husillo mantuviese la perpendicularidad. El doblado de la pieza se realizó en la dobladora manual de la que disponemos en el taller. El procedimiento a seguir fue sencillo pero efectivo. Lo más importante era que los dos pliegues fueran de la misma longitud exactamente, ya que de esta forma los agujeros quedarían perfectamente situados. Así que en primer lugar se colocó la pletina para realizar el primer pliegue y se añadió un tope, para que al colocar el otro extremo de la pletina fuese de forma exactamente simétrica.

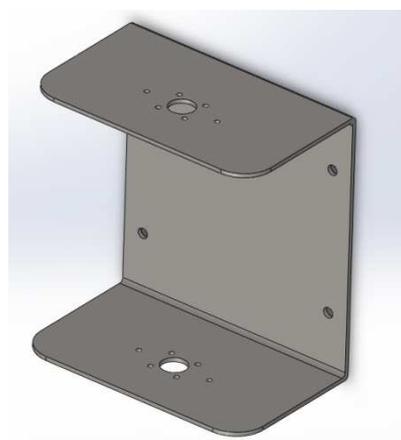


Figura 37. Pletina soporte mesa Z doblada

Para que el mecanismo funcionase era necesario proveer al conjunto de unas guías las cuales impedirían la rotación de la tuerca-brida y con ello se produciría el movimiento logitudinal a través del husillo. Estas guías se basarán en unas varillas calibradas de acero de 6 mm de diámetro, siendo que los agujeros de la tuerca son de 6 mm también, siendo necesario pasarles un escariador para aumentar el ajuste.



Figura 38. Guías para la mesa Z

A las dos varillas cortadas a 125 mm de se les realizó unas roscas en los extremos para ser atornilladas al soporte principal.

Además de realizar la función de guías, las varillas también realizar la función de pilares, haciendo que la pletina-soporte tenga una rigidez mucho mayor.



Figura 39. Montaje de las guías en el soporte

Por último, se debía fabricar el accionamiento del mecanismo. Se pensó en acoplar un pomo cilíndrico a la parte interior del husillo. El acoplamiento se realizaría haciéndole al husillo un rebaje en forma de cuadrado, introduciendo el pomo en él. El pomo será fabricado en la impresora 3D de poliamida, al igual que otras piezas del conjunto posicionador.

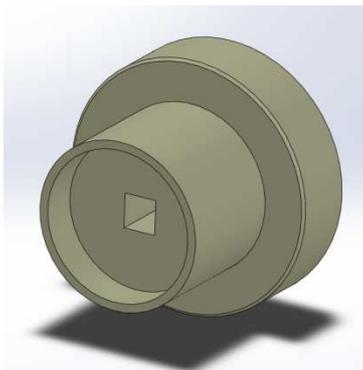


Figura 40. Diseño del pomo

Una vez se disponía de todos los elementos, se pasó al montaje del conjunto. En primer lugar se debían colocar las guías con la tuerca-brida en el interior del soporte, con la pletina base ya atornillada a la tuerca, y seguidamente introducir el husillo a través de la tuerca y dejarlo posicionado con los rebajes realizados para acoplarlo a la pletina con las parejas de piezas fabricadas en la cortadora de agua.

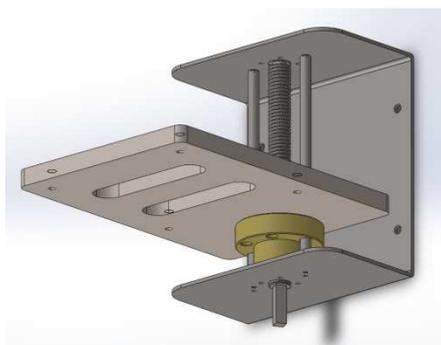


Figura 41. Montaje del conjunto mesa Z

Después se deben atornillar las guías a la pletina-soporte, así de esta forma también se consigue la perpendicularidad deseada, ya que las varillas tienen la longitud exacta a la longitud de la pletina doblada.

Por último se ensambló el pomo en el *cuadrado* del husillo con un tornillo prisionero para impedir el desplazamiento entre ambos.

A continuación se muestra el conjunto Mesa Z completamente montado, tanto en archivo digital 3D como en físico.

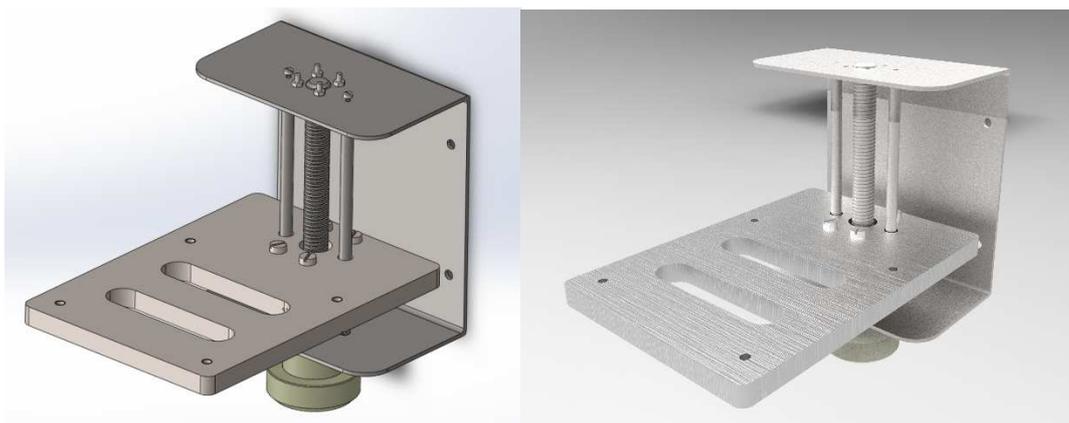


Figura 42. a) Conjunto mesa Z definitivo b) Renderizado mesa Z

5.3 Fabricación del conjunto posicionador rotativo

Como ya se ha dicho antes, los conjuntos posicionadores rotativos se fabricarían en la impresora 3D de poliamida Formiga P100, debido a que las piezas que contiene son muy complicadas de fabricar con otros métodos.

Después de haber diseñado todas las piezas del conjunto posicionador rotativo en el software de diseño 3D SolidWorks, se importó al software Magics.13, el cual realiza el diagnóstico de las piezas diseñadas y optimiza la distribución de las piezas en la cuba de la impresora de poliamida.

Después de haber estado trabajando 11.5 horas, se debía extraer la cuba de la impresora y dejarla unas 4-5 horas más para que terminara de enfriar.

Una vez extraídas las piezas de la cuba era necesario limpiar su superficie con la máquina de granallado Normfinish, que consiste en un chorro de aire a presión que contiene millares de bolas de vidrio de 25 μ m de diámetro.

Con las piezas ya perfectamente acabadas se pasó al montaje. Con el montaje se debía mantener un orden a seguir. En primer lugar se debía alojar el tornillo sinfín en el lugar correspondiente atornillándolo al bloque como se puede observar en la imagen, y seguidamente introducir la corona por el hueco opuesto al del tornillo sinfín, ya que esta no cabe por ningún otro.

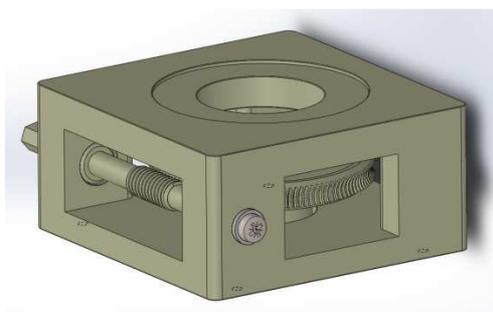


Figura 43. Montaje del mecanismo sinfín-corona

A continuación se debía ensamblar el rotor introduciendo su extremo hexagonal en el agujero de la corona, posicionando a esta a la misma altura que el tornillo sinfín para su buen engrane y fijándolos con un tornillo prisionero.

Seguidamente se debía acoplar la tapa al fondo del rotor. Esto se hizo con dos tornillos en vez de con uno, ya que el giro entre estos y el bloque podría aflojar al tornillo y que el conjunto se viniese abajo. Por último se debía introducir la ruleta en el eje hexagonal del tornillo sinfín, para poder accionar manualmente al conjunto.

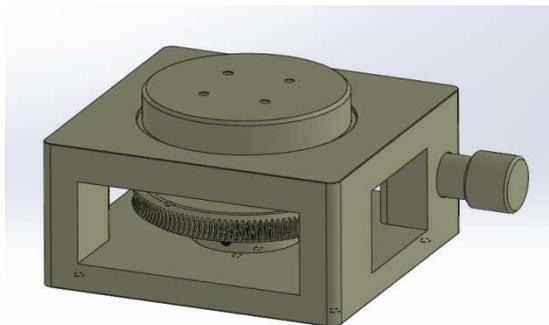


Figura 44. Conjunto posicionador rotativo definitivo

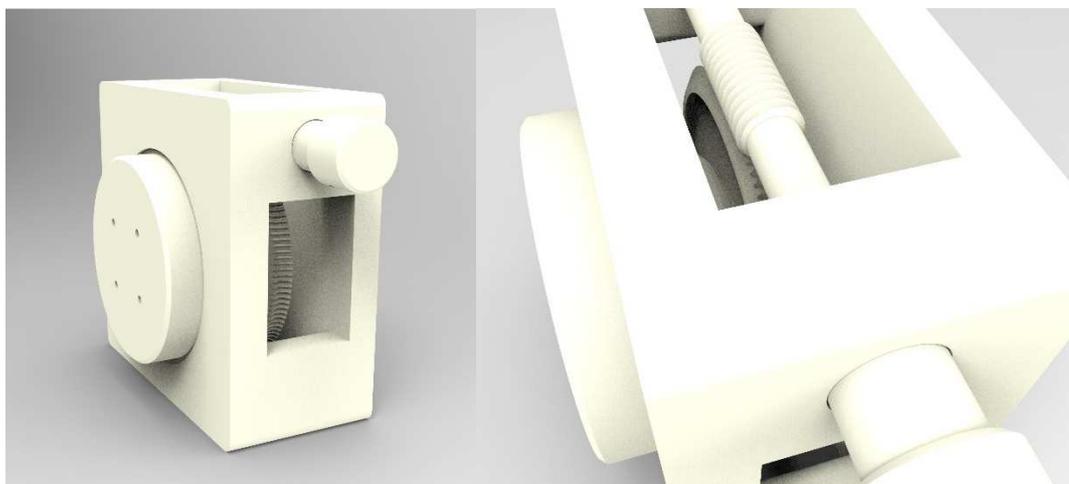


Figura 45. Renderizado del conjunto posicionador rotativo

Una vez fabricados y montados todos los subconjuntos del dispositivo posicionador, se pasó a realizar el montaje final del mismo. Un posicionador de cinco grados de libertad muy preciso; con una precisión de 0.01 mm en los posicionadores longitudinales y una precisión de 1mrad en los posicionadores rotativos.

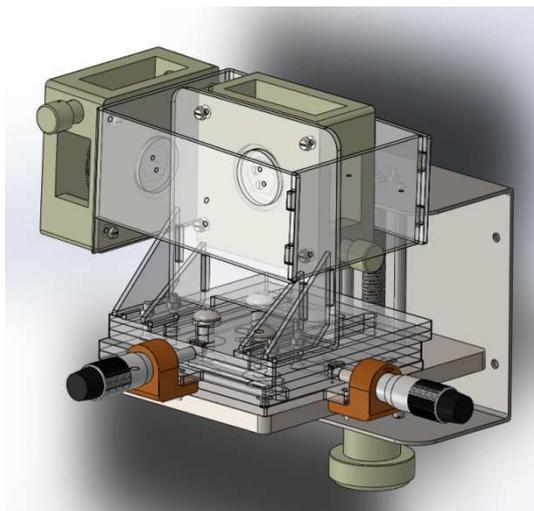


Figura 46. Conjunto posicionador definitivo

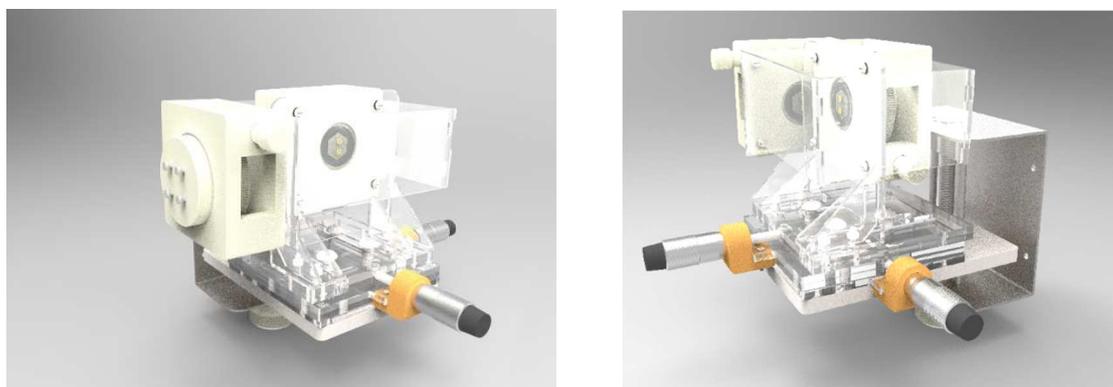


Figura 47. Renderizado del conjunto posicionador

6. Diseño del dispositivo opto-mecánico

El sistema de medición opto-mecánico consta principalmente de dos partes fundamentales, una óptica y una mecánica: el conjunto diodo láser emisor- fotodiodo receptor diferencial, y el conjunto muestra-voladizo.

El funcionamiento del sistema es el siguiente:

- La muestra que se quiere medir experimentará una fuerza alterna vertical, la cual se transmitirá directamente al voladizo, mediante una unión rígida utilizando una varilla de grafito de unos 30cm, con el objetivo de alejar el resto de componentes del magnetómetro y con ello minimizar al máximo las interferencias producidas.
- Como la muestra y el voladizo están unidas rígidamente, la vibración que experimenta la muestra se transmite directamente al voladizo. En su extremo libre, al que está unido rígidamente la varilla de la que pende la muestra en estudio, hay una pequeña lámina reflectante sobre la que incide el haz láser (del láser de diodo), que se refleja hacia un fotodiodo segmentado en 2, que hace de detector. La flexión del voladizo produce la desviación del haz reflejado, dando lugar a una diferente corriente fotogenerada por cada segmento del fotodiodo. Esta diferencia es proporcional a la fuerza sobre el espécimen magnético (en el gradiente alterno de campo magnético), que es a su vez proporcional al momento magnético adquirido por el espécimen. Conviene operar a la frecuencia de resonancia del sistema, ya que ésta es la que mayor amplitud de oscilación le da al conjunto, maximizando por tanto la desviación del haz que llega al foto-detector."
- El sistema estará dispuesto de un conjunto de espejos con la intención de amplificar la señal emitida y con ello conseguir que el magnetómetro tenga una mayor sensibilidad.
- Por último también será necesario diseñar el sistema electrónico de control encargado de realizar la amplificación de la amplitud de la vibración del voladizo, lo que aumentará la precisión del dispositivo opto-mecánico.

A continuación se muestra un esquema con el funcionamiento del sistema opto-mecánico:

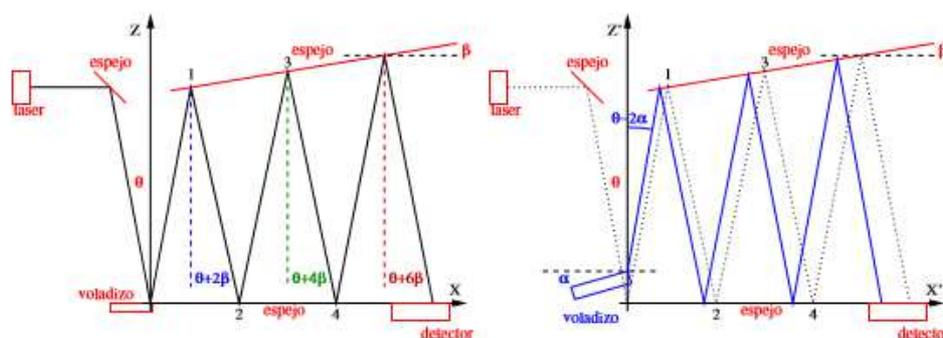


Figura 48. Esquema del funcionamiento del sistema opto-mecánico

6.1 Elección del material para el voladizo

Sin duda el mayor reto de este proyecto fue la fabricación del voladizo del dispositivo opto-mecánico.

El primer paso fue elegir el material con el que iba a ser fabricado, convirtiéndose esto en un paso clave en el desarrollo de este proyecto.

En primer lugar se pensó en fabricarlo en vidrio, ya que se trata de un material, aunque frágil, con un comportamiento elástico, es decir, no tiene comportamiento plástico, lo que es importante para el buen funcionamiento del magnetómetro.

En la teoría el vidrio funcionaba perfectamente, pero a la hora de pensar en la fabricación aparecían los problemas. En primer lugar, como el espesor debía de ser de unas pocas micras, no había forma de fabricarlo con las máquinas disponibles en el taller de la universidad, incluso ni la cortadora láser, ya que partía el vidrio tan fino.

Además, también había que pensar en la manipulación del dispositivo, ya que se pensó en poder cambiar la muestra manualmente, así que la fractura del vidrio sería inevitable.

Por lo tanto, el vidrio fue descartado y comenzó una intensa búsqueda de materiales con las propiedades idóneas.

Una de las propiedades más influyentes era el módulo de Young, ya que es directamente proporcional a la frecuencia de resonancia, la cual interesaba que fuese alta para que el ciclo de histéresis magnética fuera lo más breve posible, con lo cual, también las mediciones [8,9].

Con esa restricción, se descartaron los plásticos porque el módulo de elasticidad de todos ellos rondan los 1-3GPa, lo que no era suficiente.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de los plásticos

Polymer	Density (kg/m ³)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)	Young's Modulus (GPa)	Brinell Hardness Number
PVC	1330	48	200	3.4	20
Polystyrene	1050	48	3	3.4	25
PTFE	2100	13	100	0.3	
Polypropylene	900	27	200-700	1.3	10
Nylon	1160	60	90	2.4	10
Cellulose Nitrate	1350	48	40	1.4	10
Cellulose Acetate	1300	40	10-60	1.4	12
Acrylic (metacrylate)	1190	74	6	3.0	34
Polyethylene	950	20-30	20-100	0.7	2

Así que directamente se pensó en los metales, ya que por norma general poseen un alto módulo de Young.

En ese momento el problema era encontrar un metal que no interfiriese en exceso en las mediciones de la muestra; en otras palabras, un metal paramagnético.

Sin duda el aluminio y el cobre eran materiales idóneos, ya que su módulo de Young ronda los 70-80GPa, y tienen una rigidez más que suficiente.

Pero había otro problema; estos metales son muy dúctiles y poseen un Yield Strength o tensión de fluencia demasiado bajo, entre los 20-70MPa, es decir, a partir de esa tensión el material entra en régimen plástico, lo que haría que las mediciones no tuviesen sentido, ya que el funcionamiento del dispositivo opto-mecánico se basa en una ley de la elástica.

Así que, además de un alto módulo de Young, rigidez y comportamiento paramagnético, debemos añadir la restricción de que el material tenga un comportamiento elástico, mayoritariamente.

Indagando en artículos de nuevos materiales fui a parar a un novísimo material, el grafeno.

El grafeno es un material "*bidimensional*" con una sola capa de átomos de carbono. Las extraordinarias propiedades semiconductoras de este material hacen que la gran mayoría de los proyectos de investigación del mismo vayan en esa línea. Pero el grafeno también posee unas formidables propiedades mecánicas, y especialmente su módulo de Young, cuyo valor es de 1TPa (1000GPa), quintuplicando al del acero.

Con estas premisas, seguí profundizando en este material, así que me puse en contacto con varios proveedores, tanto nacionales como internacionales. La idea era conseguir una lámina de al menos 200µm de espesor. Los productos que se ofrecían en todos los catálogos eran del orden de los 100nm de espesor, así que al contactar con los proveedores, pregunté la posibilidad de conseguir espesores mayores.

De las empresas que respondieron, todas ellas coincidían en la imposibilidad de conseguir tales espesores, y una en concreto explicaba el por qué:

Ellos podían fabricar láminas de hasta cinco capas "*bidimensionales*" de grafeno, lo que tendría un espesor máximo de unos 500nm. Explicaba que si intentaban apilar más capas, con la tecnología que ellos poseen, lo único que conseguirían sería una lámina fina de grafito, ya que el grafeno se fabrica extrayendo capas de este mineral.

Así que el grafeno no podía satisfacer las necesidades requeridas, pero no iba en mal camino en cuanto al tipo de material que se necesitaba.

Pensando materiales con similares características y procedencia que el grafeno, se pensó en utilizar la fibra de carbono, un material con un módulo de Young de hasta los 400GPa [11], y que, combinado con la resina apropiada, adopta una gran rigidez, entre otras muchas propiedades. Además, la mayor ventaja de este material es que está disponible en nuestro campus.

Magnetómetro de gradiente alterno de campo (AGM)

Property	Commercial, standard modulus	Aerospace		
		Standard modulus	Intermediate modulus	High modulus
Tensile modulus, GPa (10^6 psi)	228 (33)	220–241 (32–35)	290–297 (42–43)	345–448 (50–65)
Tensile strength, MPa (ksi)	380 (550)	3450–4830 (500–700)	3450–6200 (600–900)	3450–5520 (600–800)
Elongation at break, %	1.6	1.5–2.2	1.3–2.0	0.7–1.0
Electrical resistivity, $\mu\Omega \cdot \text{cm}$	1650	1650	1450	900
Thermal conductivity, $\text{W/m} \cdot \text{K}$ ($\text{Btu/ft} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F}$)	20 (11.6)	20 (11.6)	20 (11.6)	50–80 (29–46)
Coefficient of thermal expansion, axial direction, 10^{-6} K	-0.4	-0.4	-0.55	-0.75
Density, g/cm^3 (lb/in.^3)	1.8 (0.065)	1.8 (0.065)	1.8 (0.065)	1.9 (0.069)
Carbon content, %	95	95	95	+99
Filament diameter, μm	6–8	6–8	5–6	5–8
Manufacturers	Zoltek, Fortafil, SGL		BPAmoco, Hexcel, Mitsubishi Rayon, Toho, Toray, Tenax, Soficar, Formosa	

Figura 49. Tabla de las propiedades mecánicas de la fibra de carbono en matriz PAN [11]

En primer lugar, se pidió información a varios proveedores de láminas de fibra de carbono en matriz epoxi. La mayoría de los proveedores ofrecían las mismas características:

COMPOSITE PROPERTIES *			
Tensile Strength	270 ksi	1,860 MPa	ASTM D-3039
Tensile Modulus	20.0 Msi	135 GPa	ASTM D-3039
Tensile Strain	1.3 %	1.3 %	ASTM D-3039
Compressive Strength	215 ksi	1,470 MPa	ASTM D-695
Flexural Strength	260 ksi	1,810 MPa	ASTM D-790
Flexural Modulus	18.0 Msi	125 GPa	ASTM D-790
ILSS	14 ksi	10 kgf/mm^2	ASTM D-2344
90° Tensile Strength	11.0 ksi	76 MPa	ASTM D-3039
* Toray 250°F Epoxy Resin. Normalized to 60% fiber volume.			
Tensile Strength	255 ksi	1,760 MPa	ASTM D-3039
Tensile Modulus	19.5 Msi	130 GPa	ASTM D-3039
Tensile Strain	1.3 %	1.3 %	ASTM D-3039
Compressive Strength	230 ksi	1,570 MPa	ASTM D-695
Compressive Modulus	18.5 Msi	125 GPa	ASTM D-695
In-Plane Shear Strength	14 ksi	98 MPa	ASTM D-3518
ILSS	15.5 ksi	11 kgf/mm^2	ASTM D-2344
90° Tensile Strength	11.5 ksi	80 MPa	ASTM D-3039
** Toray Semi-Toughened 350°F Epoxy Resin. Normalized to 60% fiber volume.			
See Section 4 for Safety & Handling information. The above properties do not constitute any warranty or guarantee of values. These values are for material selection purposes only. For applications requiring guaranteed values, contact our sales and technical team to establish a material specification document.			

Figura 50. Hoja de características del composite T300 (Fibra de carbono en matriz epoxi) [12]

De todas las propiedades, las más significativas eran el módulo de Young (230GPa) y el porcentaje carbono-resina (60-40). También cabe destacar que todas las láminas estaban fabricadas con tejido bidireccional, ya que la fibra de carbono es un material anisótropo y dispuesto de esta forma se consigue una isotropía en las dos direcciones principales (x, y). Con toda la información obtenida, se decidió elegir este material y pasar a realizar las pruebas empíricas.

En primer lugar se eligió un tejido de fibra de carbono unidireccional para la fabricación de la lámina. El motivo por el cual se eligió fue que la flexión del voladizo es sólo en una dirección, es decir, es flexión simple, por lo tanto la idea era orientar las fibras en la dirección longitudinal al voladizo.

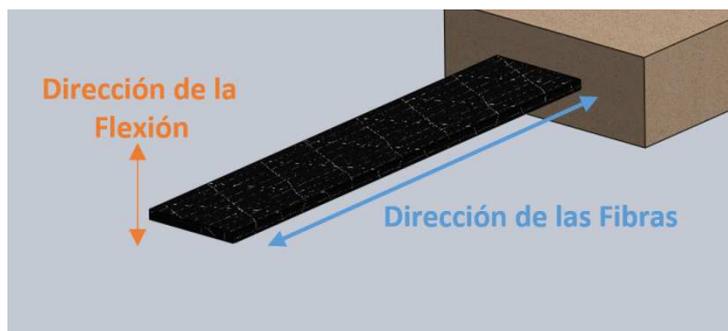


Figura 51. Voladizo de fibra de carbono unidireccional

Se fabricaron tres láminas de distintos espesores para comparar el comportamiento y las propiedades de las mismas. Fueron fabricadas con una, dos y tres capas de tejido unidireccional.

La fabricación fue simple; consistió en colocar cada plancha por separado impregnando las capas con la resina epoxi. Una vez preparadas, se colocaron en una prensa bajo una presión constante durante un día completo, para asegurarnos de que tuviesen un curado suficiente.

La primera impresión que se tuvo sobre las láminas fue que tenían una rigidez excesiva, debido al tejido unidireccional. La lámina de una capa tenía un espesor de 0,68mm, la de dos, de 1,2mm, y la de tres capas, tenía un espesor de 2mm.

Era evidente que el módulo de Young era elevadísimo, entre 280 y 350GPa según la teoría, cumpliendo con creces los objetivos, ya que la frecuencia de resonancia aumentaría considerablemente y con ello disminuiría el tiempo en realizar el ciclo de histéresis magnética. Pero había algo que pasaba por alto, y es que cuanto más rígido fuese el voladizo, menor sería el desplazamiento y la inclinación del mismo, por lo tanto, también sería menor la sensibilidad del dispositivo.

Por lo tanto, se pensó en fabricar otras placas de fibra de carbono; esta vez con tejido sarga bidireccional (como el de los proveedores) para conseguir una mayor flexibilidad, pero sin disminuir en exceso su módulo de Young.

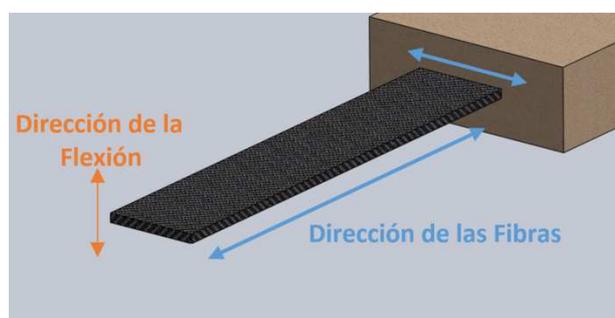


Figura 52. Voladizo de fibra de carbono bidireccional

Las placas se fabricaron siguiendo el mismo procedimiento que con las de tejido unidireccional. También se fabricaron tres, de una, dos y tres capas. La primera impresión fue mucho mejor que con las de tejido unidireccional, ya que eran mucho más flexibles, pero lo suficientemente rígidas para sustentar a la varilla con la muestra; con una resistencia altísima y con un comportamiento casi puramente elástico, algo de vital importancia para el correcto funcionamiento del dispositivo.

Para calcular el porcentaje exacto de carbono-resina, se procedió a cortar las láminas iguales, de 195 mm x 175 mm. Sabiendo que el tejido era de 420g/m², se calculó el peso de carbono en cada lámina.

Posteriormente, se pesaron las láminas una por una para determinar el peso total de las planchas y con ello la proporción fibra-matriz. A continuación se muestra una tabla con todos los valores correspondientes a las tres planchas.

Tabla 3. Dimensiones y composición de las placas de fibra de carbono

	SUPERFICIE (m ²)	ESPESOR (m)	DENSIDAD FIBRA (kg/m ³)	PESO FIBRA (kg)	PESO TOTAL (kg)	PESO MATRIZ (kg)	% FIBRA-MATRIZ
1 CAPA	0,0341	0,0004	1750	0,0239	0,0389	0,015	61,5-38,5
2 CAPAS	0,0341	0,0008	1750	0,0478	0,0710	0,023	67,3-32,7
3 CAPAS	0,0341	0,0012	1750	0,0717	0,0993	0,028	72,2-27,8

Es lógico que el porcentaje de carbono vaya aumentando conforme se van añadiendo capas. En la siguiente figura se puede apreciar perfectamente:



Figura 53. Representación del aumento de porcentaje de fibra con el número de capas

Siendo las capas de color negro el tejido de carbono, y las capas de color gris la matriz de resina epoxi.

Conforme se van añadiendo capas a las planchas, se aprecia que la cantidad de carbono va aumentando respecto a la de resina, ya que las capas intermedias de resina son del mismo espesor que las exteriores, por lo que como las interiores cubren una capa de carbono a cada lado, es como si fueran de la mitad del espesor que las exteriores, que solo cubren una capa de carbono.

Con las planchas ya fabricadas se procedió al siguiente paso; realizar los ensayos de tracción para determinar el Módulo de Young, ya que el campus dispone de una máquina para realizar dichos ensayos en el taller de metrología. Las probetas de fibra de carbono se fabricaron en la fresadora de control numérico XYZ Millenium.

El funcionamiento, las gráficas y los cálculos de los ensayos de tracción se explican detalladamente en el *Anexo 4: Ensayos*.

En primer lugar se realizaron ensayos independientes entre ellos de las 3 placas de fibra de carbono, las que se corresponden a los ensayos 1, 2 y 3, respectivamente. Con los cálculos numéricos que realizaba el software se comprobaba que el Módulo de Young del material era muy elevado, de 223 a 277GPa entre las placas de una a tres capas. En una primera valoración los datos parecían tener sentido, pero a la hora de comprobar el Módulo de Young con la pendiente de la gráfica se podía comprobar que este disminuía notablemente, hasta el orden de los 20GPa.

Estaba claro que la máquina cometía algún fallo a la hora de realizar los cálculos, así que pasamos a realizar un ensayo conjunto con los tres espesores; el que se corresponde a la gráfica con las tres funciones (roja, verde y azul), aunque los resultados fueron similares a los anteriores.

Visto que el error era sistemático, se procedió a indagar en los archivos históricos de la máquina, y comprobando que el error entre el Módulo de Young calculado por la máquina y el calculado por mí con los valores de la gráfica seguían sin coincidir. Por lo tanto se decidió realizar una hoja de cálculo con todos los valores calculados por la máquina y por mí, tanto de los ensayos realizados con la fibra de carbono como de alguna muestra de los históricos de la máquina, para encontrar el patrón que me determinase el error. A continuación se muestra la hoja de cálculo con los diferentes datos de los ensayos.

Tabla 4 Valores y comparación de los datos obtenidos en los ensayos de tracción

	SECCIÓN			SECCIÓN		MÓDULO	MÓDULO	
	TEÓRICA	F MAX	C MAX	CALCULADA	PENDIENTE	YOUNG	YOUNG	FACTOR DE
	(mm2)	(N)	(MPa)	(mm2)	(KN/%)	GRÁFICA	CALCULADO	CORRECCIÓN
						(GPa)	(GPa)	
ENSAYO 1	14,40	9932,50	713,54	13,92	284,36	19,75	277,19	14,04
ENSAYO 2	9,60	8311,67	865,80	9,60	222,22	23,15	223,77	9,67
ENSAYO 3	4,80	3544,17	738,37	4,80	117,02	24,38	121,81	5,00
ENSAYO CONJUNTO								
1 CAPA	4,80	2595,83	540,80	4,80	87,40	18,21	86,61	4,76
2 CAPAS	9,60	8283,33	862,85	9,60	222,91	23,22	223,12	9,61
3 CAPAS	14,40	11210,00	778,47	14,40	309,01	21,46	308,33	14,37
ENSAYOS HISTÓRICO								
ALUMINIO 1	36,00	3329,17	86,02	38,70	227,27	6,31	225,27	35,68
ALUMINIO 2	36,00	3075,83	84,73	36,30	202,70	5,63	200,50	35,61
PVC	134,62	5612,5	42,67	131,53	129,31	0,96	125,92	131,09

En primer lugar se puede destacar que el programa sí que reconoce la sección, ya que el cociente entre la carga máxima (C MAX) y la fuerza máxima (F MAX) es exactamente igual a la sección que nosotros habíamos determinado, como se puede comprobar en la columna de sección calculada en la tabla anterior; y también las de los históricos, ya que, aunque no lo hayamos realizado nosotros, las probetas con las que se hicieron siguen en el taller, y se puede comprobar que es la misma sección.

Pero el dato más relevante es, sin duda, el resultado del cociente entre el Módulo de Young calculado por la máquina y el calculado por nosotros con la gráfica de la pendiente, siendo este cociente en todos los casos, desde las pruebas de carbono hasta los archivos históricos, el valor de la sección de la probeta de cada caso en mm.

Por lo tanto, siendo estos ensayos insuficientes para determinar el valor del Módulo de Young, se decidió realizar otro tipo de prueba.

La idea era hacer el inverso a lo que estábamos haciendo, es decir, queríamos realizar una medición directa de la frecuencia de resonancia, fabricando voladizos de diferentes dimensiones y sometiéndolos a campos magnéticos alternos de diferentes frecuencias. En el instante que el voladizo vibrara con mayor intensidad, estaría la frecuencia de resonancia. Realizando los cálculos con la misma fórmula que se determina la frecuencia de resonancia, pero de forma inversa, calcularía el Módulo de Young del material.

La primera impresión que se tuvo con los valores obtenidos es que eran demasiado bajos, estando estos comprendidos en el rango de 20 a 50GPa, y además de eso coincidiendo con los valores que se calcularon a partir de la gráfica dada por la máquina de ensayos a tracción, y no con los valores calculados por el propio software.

La elección de la fibra de carbono parecía haber sido un fracaso, ya que en definitiva, no íbamos a poder conseguir una alta frecuencia de resonancia ni unos tiempos cortos en el ciclo de histéresis, pero gracias a estos ensayos de tracción me di cuenta de una de las conclusiones más importantes de este proyecto.

Al realizar los ensayos, la curva que se dibujaba demostraba que el límite elástico era exactamente el mismo que el límite de rotura, es decir, la línea ascendente avanzaba de forma constante hasta que el material partía y la línea descendía en picado, por lo tanto esto significaba que estaba ante un material elástico puro, tal y como se comentaba al principio de esta memoria con el vidrio. Esto era algo extraordinario para el funcionamiento del dispositivo por la siguiente razón. El principio que se sigue para relacionar las propiedades mecánicas del voladizo con las propiedades magnéticas de la muestra es un principio que se fundamenta en las leyes de la elasticidad. Si el material tuviese algún tipo de comportamiento plástico, es posible que en un momento dado de las mediciones, el material sobrepasara el régimen elástico, entrando en el régimen plástico. Esto provocaría que el principio utilizado para medir el momento magnético y por lo tanto las mediciones, no fuesen correctos. Pero lo peor de esto es que sería imposible que el usuario de la máquina se diese cuenta del error, ya que el voladizo a simple vista parecería estar intacto.

Este problema se elimina con la fibra de carbono, ya que, si supera el límite elástico, la pieza rompería automáticamente, lo que permitiría al usuario darse cuenta del fallo y reemplazar la pieza.

Además de esto, a diferencia del vidrio que también tiene este comportamiento elástico puro, la fibra de carbono posee una flexibilidad muy alta, lo que permitiría a la muestra vibrar con

una amplitud muy superior a la que se conseguiría con el vidrio, por lo tanto la precisión del dispositivo sería mucho mayor, ya que una mayor amplitud de vibración hace que la precisión del sistema óptico sea mayor en términos relativos a dicha amplitud.

Por lo tanto, tras una intensa búsqueda del material óptimo para el voladizo del dispositivo opto-mecánico, la elección más adecuada es la de la fibra de carbono, con el único inconveniente de que el Módulo de Young no es tan elevado como se esperaba.

De cualquier forma, existen placas de fibra de carbono en matriz epoxi que sí que cumplen con las expectativas que se tenían al principio, como se muestra en la hoja de características del material T300, conservando el resto de las propiedades que hacen que este material sea el óptimo para la fabricación del voladizo, como son su comportamiento elástico puro y su flexibilidad.

6.2 Diseño del Voladizo

La primera premisa del voladizo de fibra de carbono, como se ha dicho antes, era que el Módulo de Young fuese lo mayor posible, para que la frecuencia de resonancia del conjunto fuese lo más alta posible, y con ello el ciclo de histéresis y el tiempo de medición mucho menores. Con las mediciones realizadas se estimó un valor de 50GPa de Módulo de Young, y con ello se pasó a realizar los cálculos para determinar las dimensiones del voladizo, utilizando las ecuaciones correspondientes [8,9]. Estos cálculos están realizados al completo en el *Anexo 2: Cálculos*.

Una vez realizados los cálculos con los distintos valores de los espesores de las placas, se decidió utilizar la placa de mayor espesor, es decir, la de tres capas de tejido, no queriendo decir con ello que el resto fueran a ser excluidas; todo lo contrario, ya que la variedad de espesores de los voladizos es lo que puede hacer que este dispositivo tenga un mayor rango de mediciones, respecto al tamaño de la muestra, que los convencionales.

Los valores de la geometría del voladizo fueron definitivamente los siguientes; espesor ($e=1.2\text{mm}$), anchura ($b=20\text{mm}$) y longitud ($L=30\text{mm}$).

Una vez realizados los cálculos y resuelta la geometría del voladizo se pasó al diseño del mismo. Este iba a tener dos partes fundamentales: el voladizo propiamente dicho y el anclaje. La parte de voladizo será de forma rectangular, con las medidas que se han enumerado anteriormente. La parte de anclaje también tendrá forma rectangular pero de mayor anchura que el voladizo, para que sea alojado en el soporte, que se explicará en el siguiente apartado.



Figura 54. Voladizos de fibra de carbono de diferentes dimensiones

6.3 Diseño Caja de Vacío

Una vez diseñada la geometría definitiva de la pieza clave del magnetómetro, el voladizo de fibra de carbono, se pasó a diseñar la caja de vacío en la que iba a estar alojado el sistema opto-mecánico. La razón por la que el sistema de medición opto-mecánico tenía que estar aislado en una caja de vacío es la siguiente. La amplitud de la vibración del voladizo, de la que se procesará la información obtenida para calcular el momento magnético, es tan sólo de unas micras. Por lo tanto, el simple rozamiento con el aire del ambiente perturbaría a las mediciones por lo que el dispositivo resultaría inservible. Así que es necesario aislarlo de tal forma que sea posible eliminar el aire del interior de la caja (produciendo en el interior de la caja una depresión de 1mBar).

En la elección de la caja, se pensó en utilizar una caja estanca de aluminio con protección IP68 (la segunda más alta del mercado), y realizar en su interior las modificaciones oportunas para integrar todos los elementos necesarios en el sistema opto-mecánico.



Figura 55. Carcasa de aluminio Deltron 486-221209-68 (comercial)

Las medidas de la caja son 220x120x90mm. Una vez elegida la caja, se pasó a realizar el diseño 3D del conjunto completo de la caja de vacío.

En primer lugar se dibujó la caja con las medidas que nos eran proporcionadas en la ficha técnica del proveedor, para así continuar con el resto de los elementos.

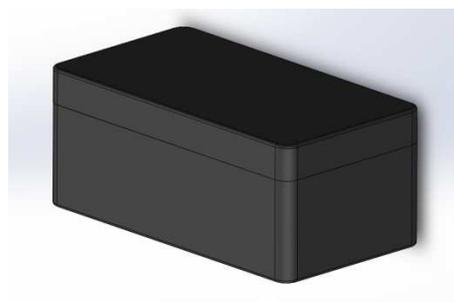


Figura 56. Diseño 3D de la caja de vacío

Con la caja dibujada, se procedió a diseñar la configuración que iba a tener su interior. Al principio del apartado de diseño del dispositivo opto-mecánico se explicó el funcionamiento del mismo; un diodo láser que incidía en el voladizo de fibra de carbono y a través de un sistema de espejos llegaba a un receptor diferencial. Este sistema es el que tiene que ir dentro de la caja de vacío.

En primer lugar había que diseñar un posicionador lineal para la colocación del foto-diodo receptor diferencial. Su funcionamiento se basa en la diferencia de señal que produce el haz de luz, ya que el receptor está dispuesto de dos partes con las que mide esta diferencia. El *gap* que posee este receptor es de $25\mu\text{m}$, por lo tanto la precisión del posicionador debía de ser como máximo el mismo ancho de banda del receptor.

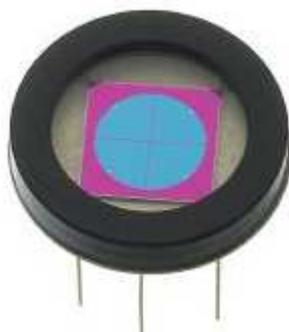


Figura 57. Foto diodo segmentado de silicio (comercial)

En primera instancia no había problema, se utilizaba otro micrómetro ya que tienen una precisión de 0.01mm , es decir, 2.5 veces más preciso de lo que se necesitaba. Pero el problema no era igual, ya que se quería que el sistema estuviese dentro de la caja de vacío, pero el micrómetro es de accionamiento manual, por lo que debería estar fuera de la caja. Así que se desechó esa opción.

Sabiendo que los accionamientos manuales iban a ser un problema para la estanqueidad de la caja, se pensó en accionar al sistema con un motor paso a paso, desde dentro. Aun siendo así, es cierto que las conexiones eléctricas tienen que salir de la caja, pero se reduce enormemente el problema de la estanqueidad.

Por lo tanto había que comprar un motor paso a paso. Buscando en casas y proveedores encontré muchos productos, pero me decanté por un motor paso a paso de 12V con un paso de 6° de giro. Debido a que la precisión del motor no era suficiente, se diseñó un mecanismo reductor dispuesto de un sinfín-corona y un piñón-cremallera.

El mecanismo tenía dos partes; el sinfín-corona en el que se realizaba una reducción de $1/120$, y el piñón cremallera, la cual transformaba una vuelta realizada por el piñón en 37mm de longitud lineal. Por lo tanto los impulsos de 6° del motor paso a paso serán transformados en $15\mu\text{m}$ de longitud lineal. Los cálculos del mecanismo se explican detalladamente en el *Anexo 2: Cálculos*.

Todo este mecanismo debe de ir sustentado en un soporte, y este a la vez, amoldarse a las dimensiones de la caja. Este soporte consiste en una plancha de metacrilato doblada para que

sea atornillada directamente a la caja, y posicionada de forma horizontal para que se apoyen sobre ella todos los componentes del mecanismo. Sobre la cremallera irá posicionado rígidamente el detector segmentado, sobre el cuál incidirá la luz emitida por el láser.

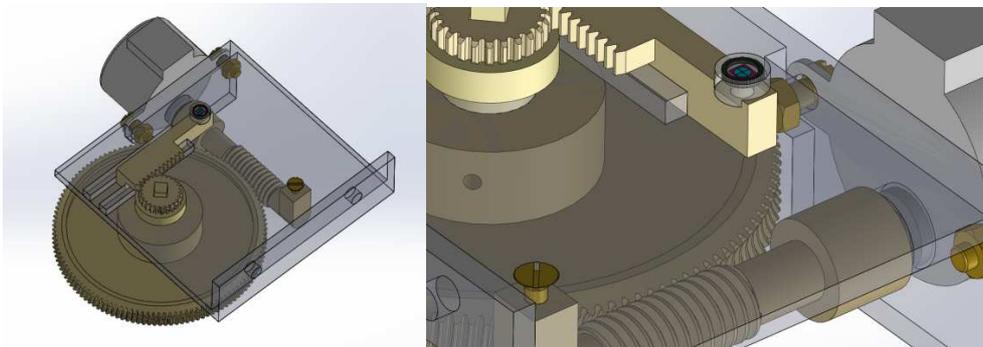


Figura 58. Diseño del mecanismo posicionador para el detector segmentado

Con el mecanismo de posicionamiento del detector diseñado, se pasó a diseñar el soporte para el diodo láser emisor. Ya que el haz de luz refleja en el voladizo verticalmente y hacia abajo, se pensó que lo mejor sería situar el diodo láser en la tapa de la caja, que está en la posición superior. A su vez, se debía colocar a la misma altura el espejo para dirigir al haz de luz hasta el voladizo, por lo que se pensó en diseñar un soporte rígido para estos dos elementos.

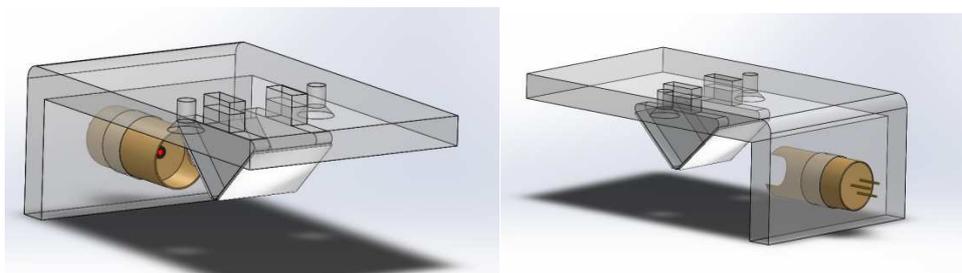


Figura 59. Diseño del soporte para diodo láser y espejos

A continuación se pasó a diseñar el soporte del voladizo de fibra de carbono. Como se ha comentado antes en la memoria de este proyecto, la elección de la fibra de carbono para la fabricación del voladizo podría permitir que el magnetómetro tuviese un mayor rango de mediciones. Eso es posible a las propiedades que tiene este material, y además de eso, realizar voladizos con distintas geometrías multiplica este efecto.

Por lo tanto se pensó en diseñar un soporte que permitiese el movimiento de los voladizos para que, al utilizar distintas geometrías, la posición donde incidiese el haz de luz fuese la misma.

El soporte consiste en unas guías de madera, ya que no se pueden introducir elementos magnéticos, donde la parte móvil tiene una mordaza provista de tornillos de plástico y unas *palomillas* para sujetar el voladizo. Las guías tienen unos agujeros transversales que permite anclar la parte móvil en la posición que mejor convenga.

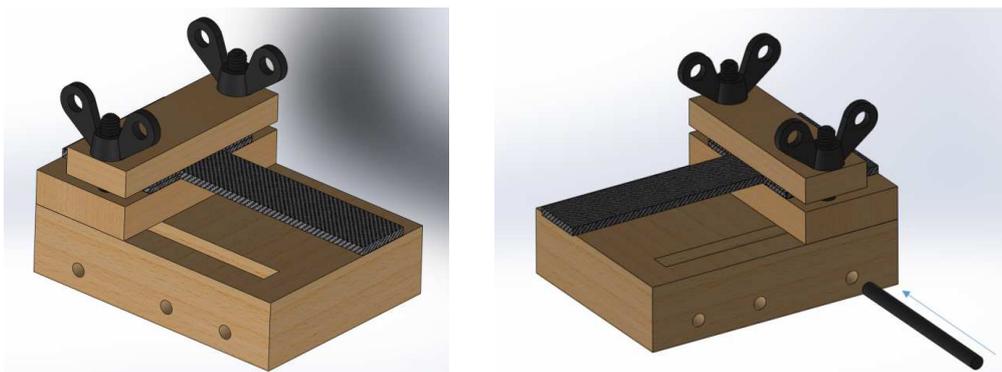


Figura 60. a) Diseño del soporte para el voladizo

b) Método de anclaje

Para evitar que se propaguen las vibraciones del voladizo al conjunto se ideó aislar el soporte del mismo con una lámina de Sorbothane [Edmund Optics 56-921] (Anexo 3: Catálogos). Una vez todos los subconjuntos de la caja diseñada, se pasó a acoplar el tubo por el que saldría la varilla de grafito hasta la muestra. Se pensó en realizar un agujero roscado a la caja, para después acoplar el tubo, también roscado, y dispuesto de una junta tórica exterior para conservar la estanqueidad.

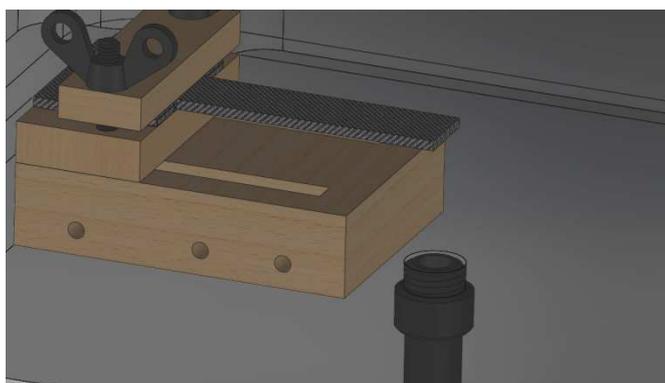


Figura 61. Acoplamiento del tubo con la caja de vacío

Este tubo tiene los dos extremos abiertos, y también roscados, con la idea de que en el cambio de la muestra no sea necesario desmontar todo el tubo y sólo quitar la tapa inferior y así poder cambiar la muestra de forma sencilla.

En la siguiente imagen se muestra la parte inferior del tubo con la tapa desmontable:



Figura 62. Esquema del cambio de la muestra

Magnetómetro de gradiente alterno de campo (AGM)

Finalmente se muestra el conjunto completo de la caja de vacío con todos sus componentes y mecanismos, capaces de posicionar al detector segmentado con una precisión de 15 μ m.

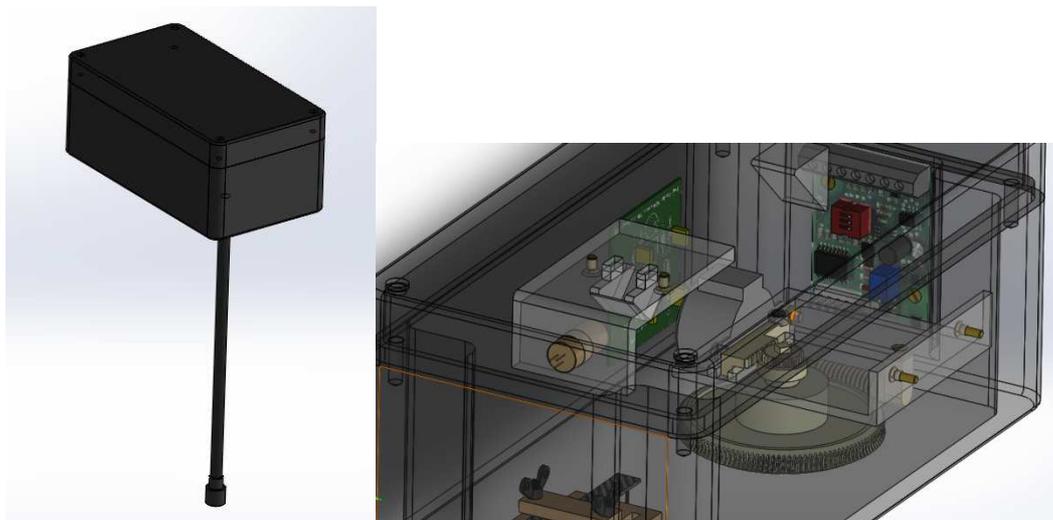


Figura 63. a) Conjunto caja de vacío b) Vista del interior de la caja de vacío

6.4 Diseño de la electrónica de control del dispositivo opto-mecánico

El último apartado que compone el diseño del dispositivo opto-mecánico es el que explica el diseño de la electrónica de control que se encarga de la amplificación de la señal.

6.4.1 Diseño de la electrónica de amplificación de señal

En este apartado se explica el diseño del circuito electrónico de amplificación de señal. El fundamento de este circuito es el de amplificar la señal que recibe del detector segmentado para así obtener unos valores mayores y, con lo cual, un dispositivo mucho más preciso. En la siguiente figura se muestra el esquema del circuito de amplificación.

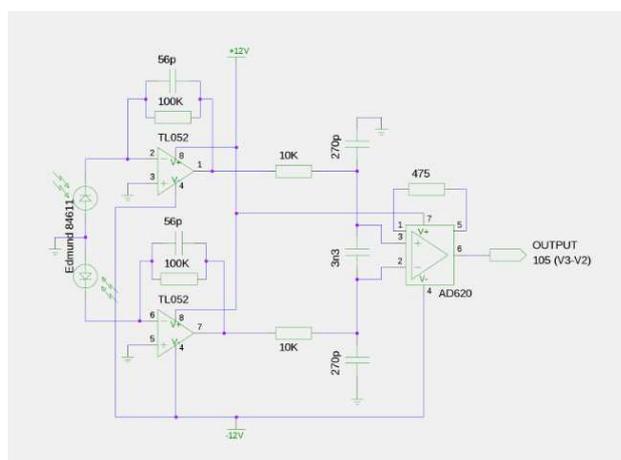


Figura 64. Esquema del circuito electrónico de amplificación de señal

La corriente fotogenerada por el detector (fotodiodo dual de silicio, de Edmund Optics, ref. 84611) se lleva a un amplificador de transresistencia, mediante el operacional dual TL052 [15], que convierte dicha corriente en una tensión eléctrica con una ganancia de 100K (1V / 10uA).

El capacitor de 56pF, que forma un filtro paso bajo con la resistencia de 100K con una frecuencia de corte $f_{3dB}=28$ kHz, se emplea para evitar que la capacidad parásita del propio fotodiodo (del que hemos medido 80pF en modo fotovoltaico, sin tensión inversa) y la del amplificador operacional formen un amplificador inestable, que daría lugar al fenómeno de oscilaciones de alta frecuencia [13].

La tensión correspondiente a cada fotodiodo se lleva a un amplificador de instrumentación AD620 [16], que amplifica la diferencia de estas tensiones x105. El AD620 garantiza una CMRR (*common mode rejection ratio*) mínima de 100dB, que corresponde a sensibilidad de 10 ppm (de variación sobre el fondo). Los capacitores a la entrada del AD620 forman un filtro paso bajo para atenuar interferencias de alta frecuencia, sin degradar la CMRR. (AnalogDevices AD620).

7. Conclusiones

Para finalizar con la memoria de este proyecto, a continuación se detallan las conclusiones obtenidas durante la realización del mismo:

- **La elección de la fibra de carbono como material para el voladizo del dispositivo opto-mecánico es muy ventajosa.**

Debido a sus extraordinarias propiedades mecánicas, el material compuesto de fibra de carbono en matriz epoxi hace que el voladizo utilizado para transmitir la vibración de la muestra tenga un comportamiento ideal y permita unos tiempos de medición mucho más breves. Además de eso, la resistencia de este material hace que sea muy fácil de manipular que se rompa, y así poder realizar cambios de muestra mucho más fácilmente.

- **La fibra de carbono que se fabricó no alcanzó las expectativas que se creían en un primer momento, aunque posteriormente terminó siendo útil por razones que desconocía previamente al proyecto.**

El motivo principal por el que elegí la fibra de carbono como material para el voladizo fue su elevadísimo Módulo de Young, de hasta 300GPa según los libros de teoría. Realizando los cálculos con esos valores se obtenían tiempos de medición muy cortos en el magnetómetro. Pero al comprobar los resultados con el ensayo a tracción al material que fabricamos no se consiguieron los valores deseados. En cambio, sí que me di cuenta de que la fibra de carbono era un material puramente elástico, lo que lo hacía perfecto para el voladizo del sistema opto-mecánico.

- **La fabricación es una parte fundamental en el diseño de un prototipo.**

Durante la fabricación del posicionador de cinco ejes del magnetómetro, el diseño sufrió una serie de cambios sustanciales, debido a que, hasta que no se prueba en la realidad, no sabes cómo se va a comportar un diseño. Por ello, una de las conclusiones de este proyecto es que la fabricación de un prototipo es una parte muy importante en el propio diseño del mismo.

- **La precisión del sistema posicionador de cinco ejes cumple con los requerimientos establecidos.**

Gracias a los mecanismos reductores diseñados, se consiguió aumentar la precisión requerida en la mayoría de los subconjuntos. En los trasladores lineales X-Y se requería una precisión de 10 μ m, siendo justo lo que se consiguió, ya que la precisión de los micrómetros es la misma. En

los posicionadores rotativos se requería una precisión de 0.1° , para que el desplazamiento lineal no fuera mayor a 0.5mm; la precisión conseguida fue de 0.05° , el doble de la requerida. En cuanto al posicionador del detector segmentado, se necesitaba una precisión de $25\mu\text{m}$, ya que el gap del detector era de esta longitud; la precisión conseguida debido al conjunto de mecanismos utilizados es de $15\mu\text{m}$, casi la mitad de lo requerido.

- **El objetivo de tener una frecuencia de resonancia en el voladizo de 200Hz ha sido cumplido.**

Como ya se ha comentado anteriormente, se necesitaba una frecuencia de resonancia en el conjunto del voladizo de 200 Hz para que los tiempos de medición resultaran factibles. Debido a las propiedades de la fibra de carbono, se ha conseguido que la frecuencia de resonancia sea de 200Hz, calculando las dimensiones apropiadas para el voladizo.

- **El aislamiento de vibraciones se ha realizado mediante la inclusión de una membrana de *Sorbothane* entre el soporte del voladizo y la caja metálica en la que están alojados.**

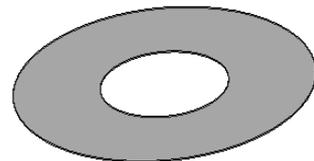
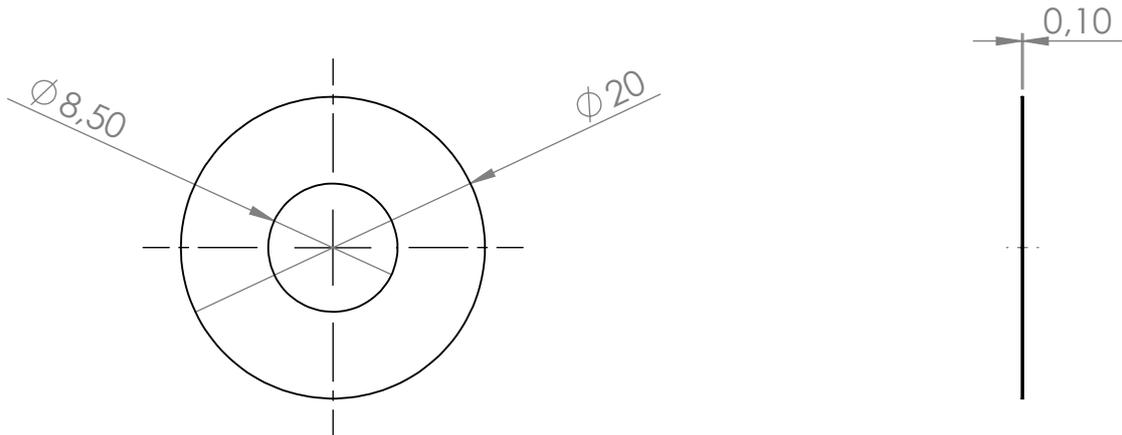
En artículos sobre magnetómetros de gradiente alterno se sugiere aislar al sistema de vibraciones mediante elastómeros que sustentan al dispositivo [1]. En nuestro caso, se ha decidido utilizar una lámina de *Sorbothane* [Edmund Optics 56-921] (Anexo 3: Catálogos), la cual se coloca entre el soporte del voladizo y la caja de vacío, para así evitar el contacto directo entre ellos.

8. Referencias

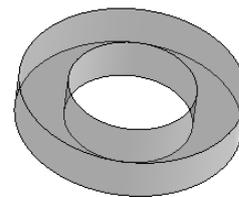
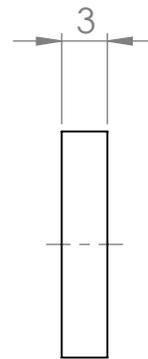
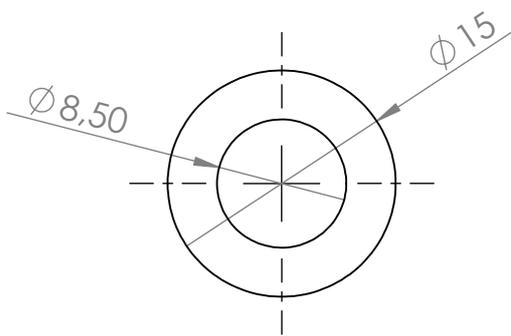
- [1] J. Flanders. *Rev. Sci. Instrum.*, **61** (1990), 839-847.
- [2] S. Foner, *Rev. Sci. Instrum.*, **30**, 548 (1959).
- [3] A. Rosales-Rivera, J.A. Restrepo, M.A. Sanin, O.E. Patiño. *Revista Colombiana de física*, **38**, 77 (2006).
- [4] M. Tinkham. *Superconductivity. Editorial McGraw-Hill*.
- [5] H. Zijlstra *Rev. Sci. Instrum.* **41**, 1241 (1970).
- [6] P. J. Flanders, *J. Appl. Phys.*, **63**, 3940 (1988).
- [7] S. Velayos. *Temas de física III. Electromagnetismo*. 1976.
- [8] J.P. den Hartog. *Mechanical vibrations*. Dover, 1985.
- [9] Tse, Morse y Hinkle. *Mechanical vibrations. Theory and applications*. Allyn and Bacon, 1978.
- [10] http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos_coeficiente_friccion.html
- [11] *ASM Handbook, Volume 21*. Págs. 34, 807. D.B. Miracle & S.L. Donaldson, eds. ASM Internacional. (2001)
- [12] Toray Industries Inc. Japan
<http://www.toraycfa.com/pdfs/T300DataSheet.pdf>
- [13] Silicon Photodiodes. Hamamatsu.
https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/e02_handbook_si_photodiode.pdf
- [14] A. L. Casillas. *Máquinas. Cálculos de Taller*. Págs. 184, 185. Ed. Máquinas.
- [15] Texas Instruments Inc.
<http://www.ti.com/product/TL052>
- [16] Analog Devices Inc.
<http://www.analog.com/en/products/amplifiers/instrumentation-amplifiers/ad620.html>

9. Anexos

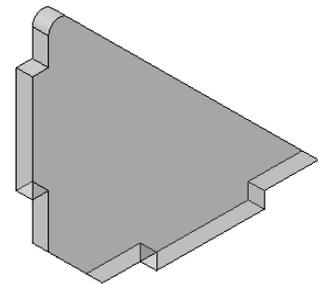
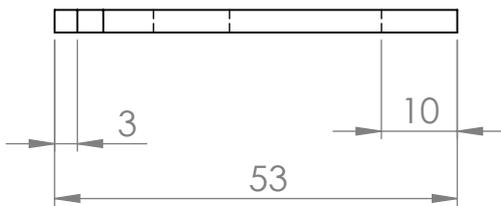
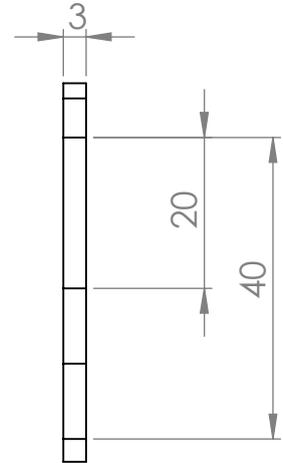
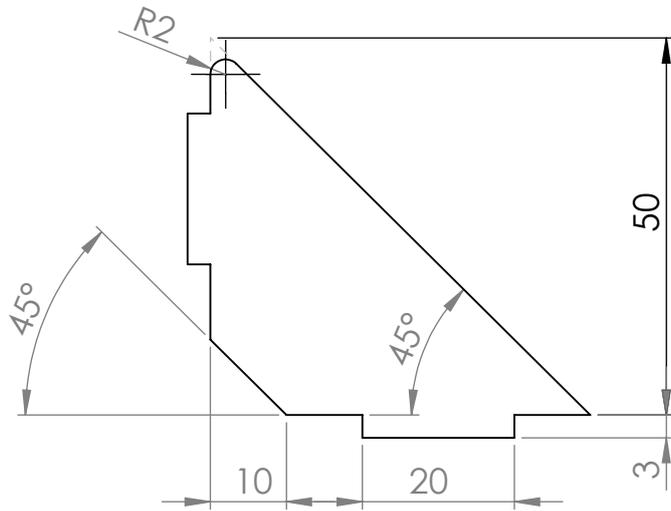
9.1 Anexo 1: Planos



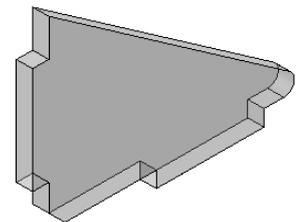
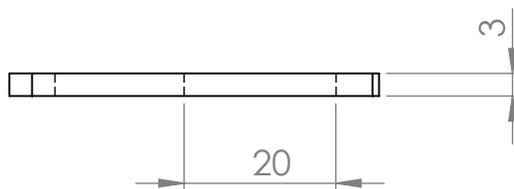
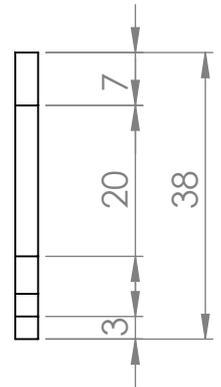
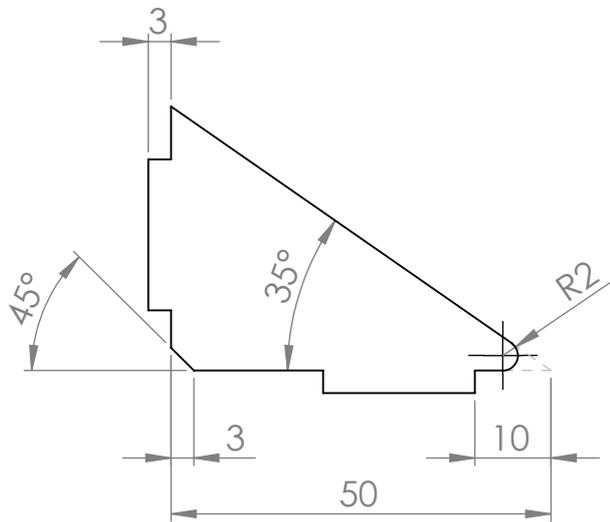
	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.		FIRMA			
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO	ARANDELA
				ESCALA:2:1	HOJA 1 DE 12



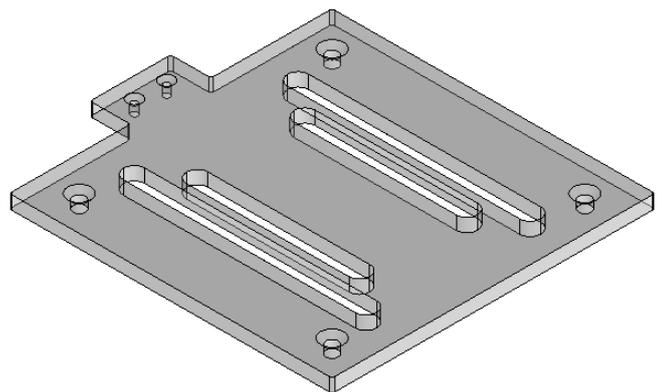
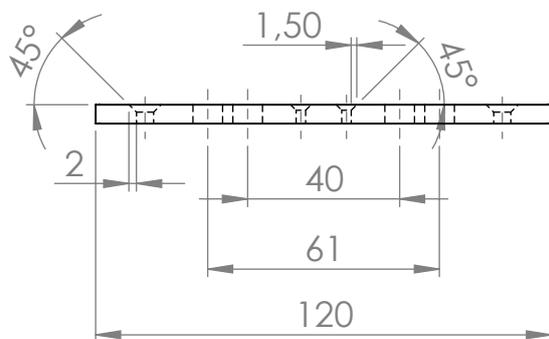
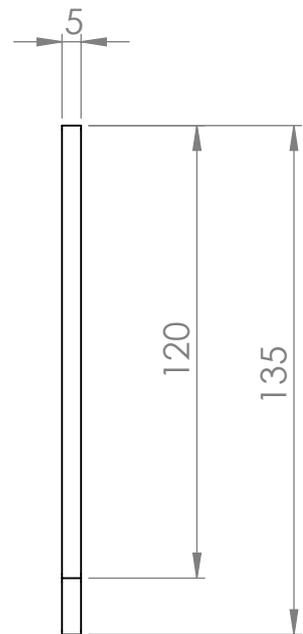
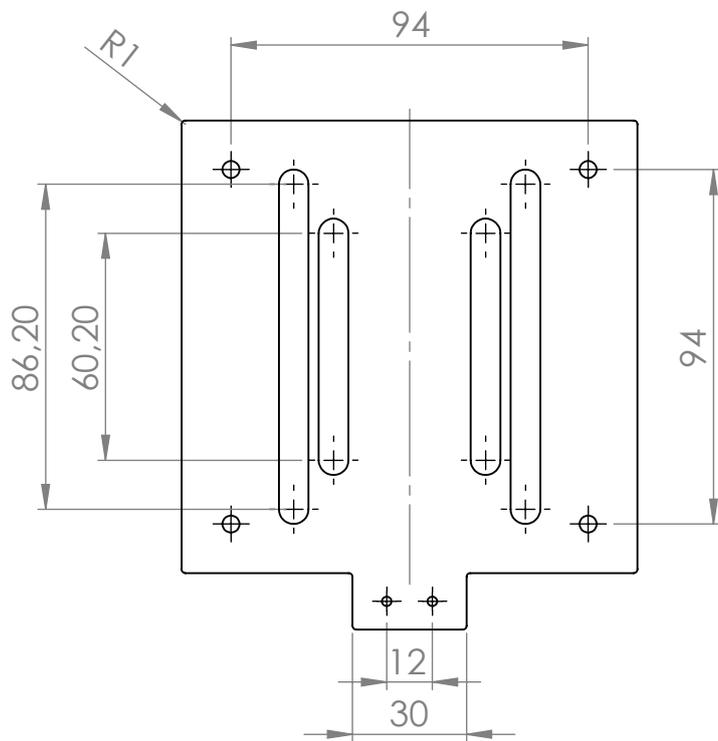
	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.		FIRMA			
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO	ARANDELA
				ESCALA:2:1	HOJA 2 DE 12



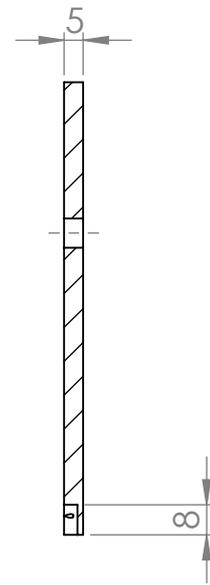
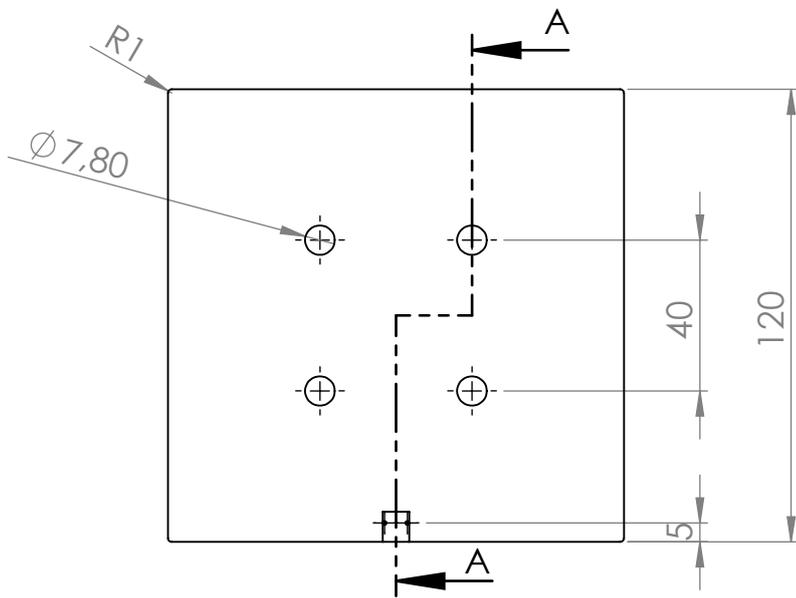
	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.		FIRMA			
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO	ESCUADRA 45°
				ESCALA: 1:1	HOJA 3 DE 12
				A4	



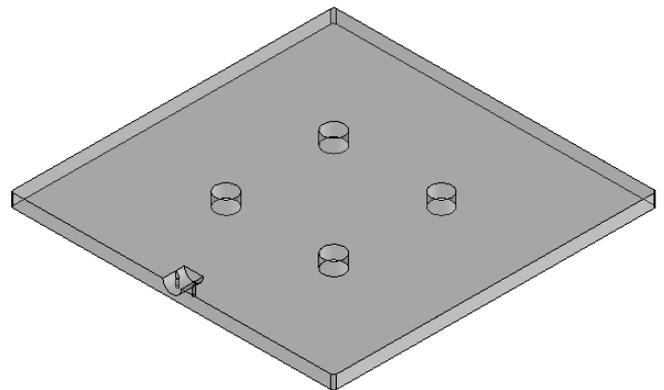
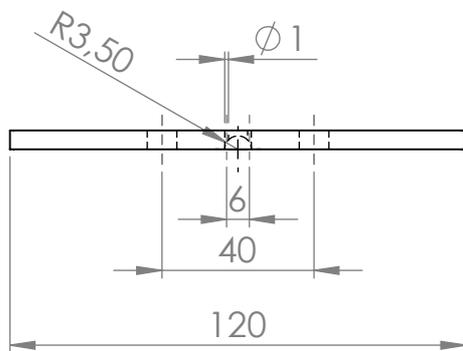
	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.		FIRMA			
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO	ESCUADRA 35°
				ESCALA: 1:1	HOJA 4 DE 12
					A4



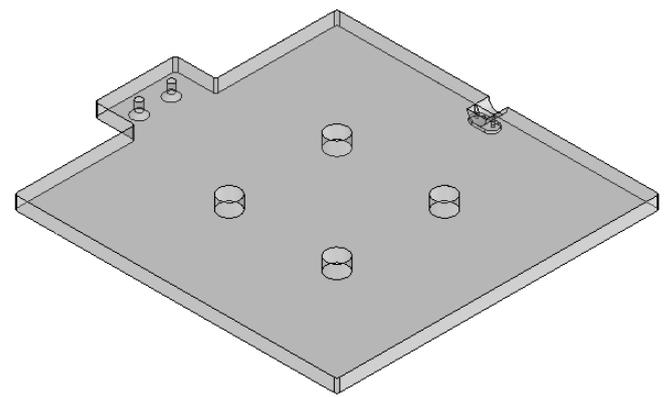
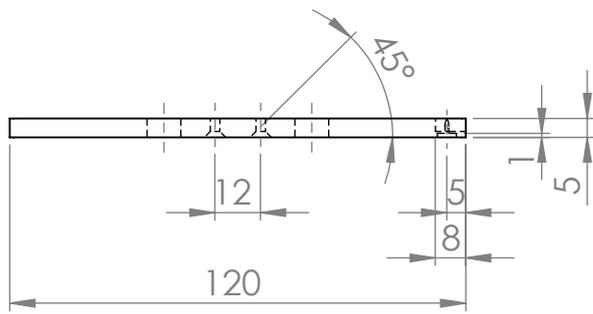
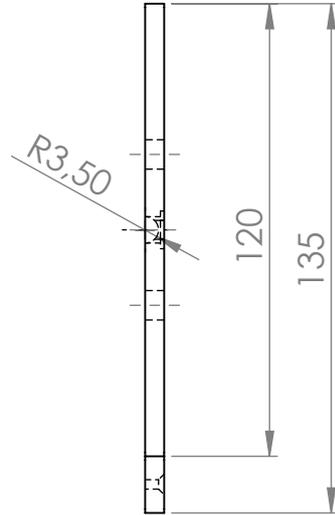
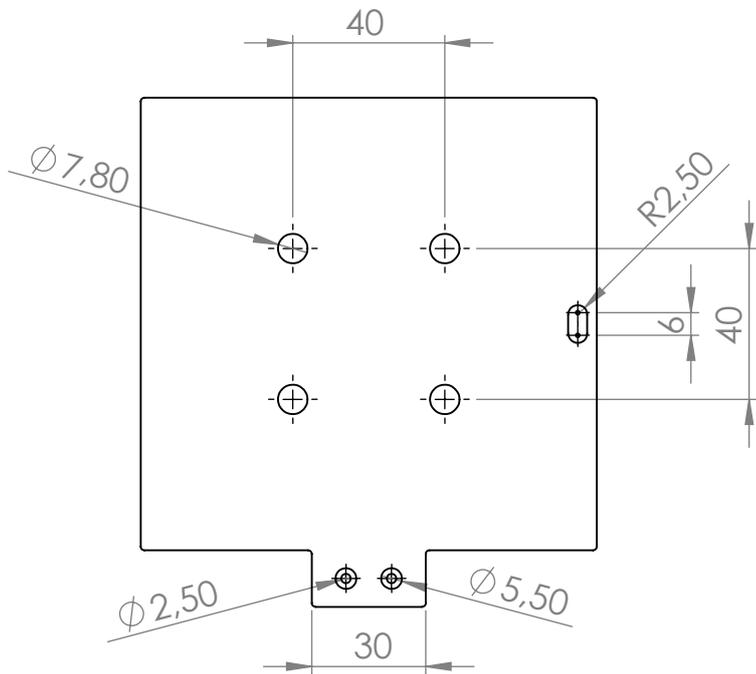
	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.		FIRMA		
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO
				PLACA GUÍA 1
				A4
		ESCALA: 1:2		HOJA 5 DE 12



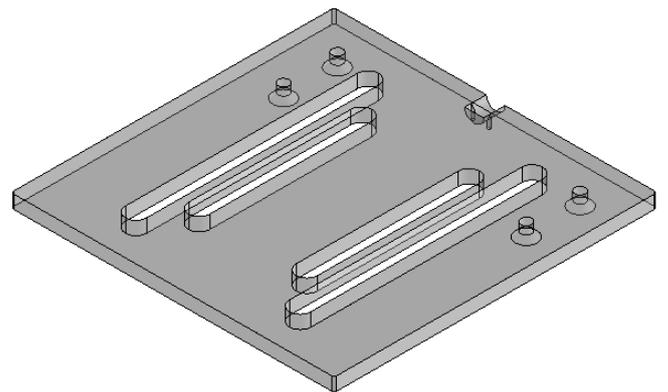
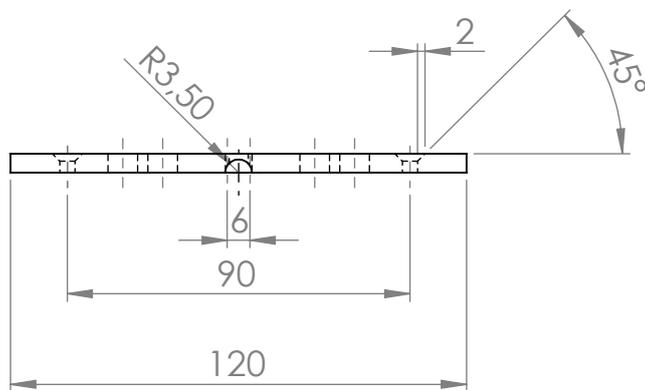
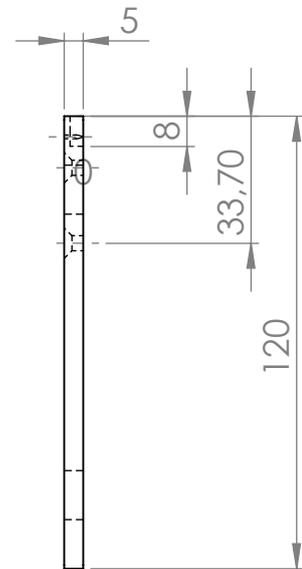
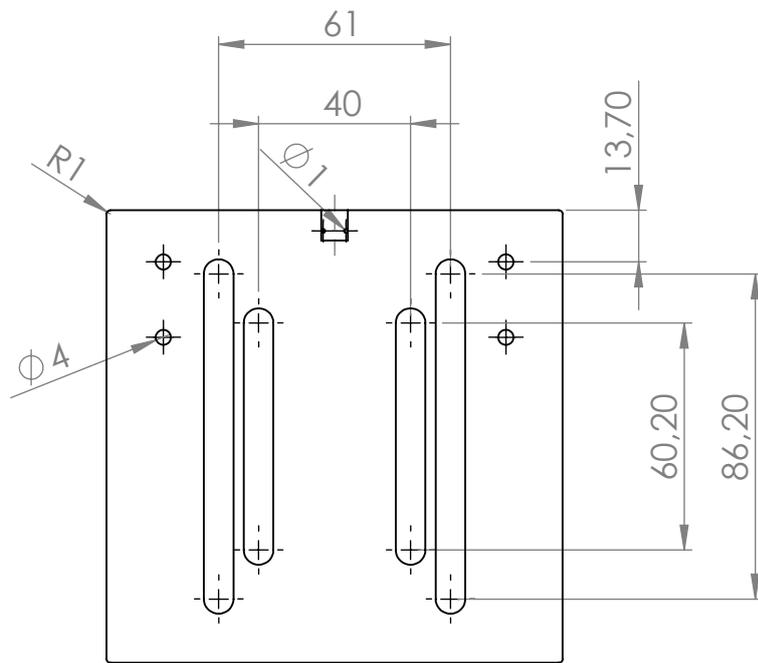
SECCIÓN A-A



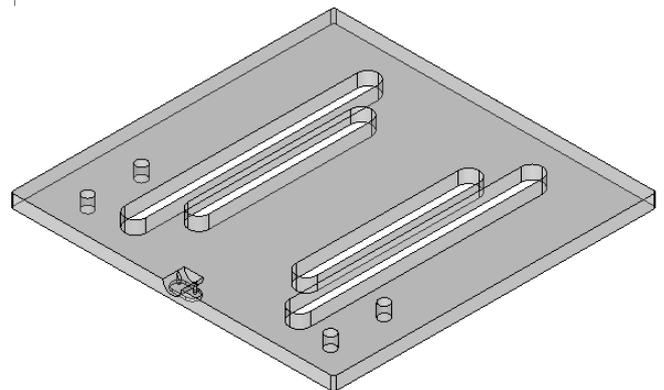
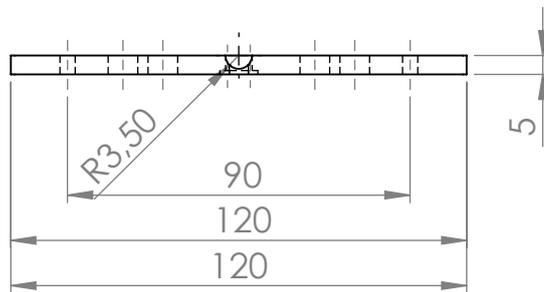
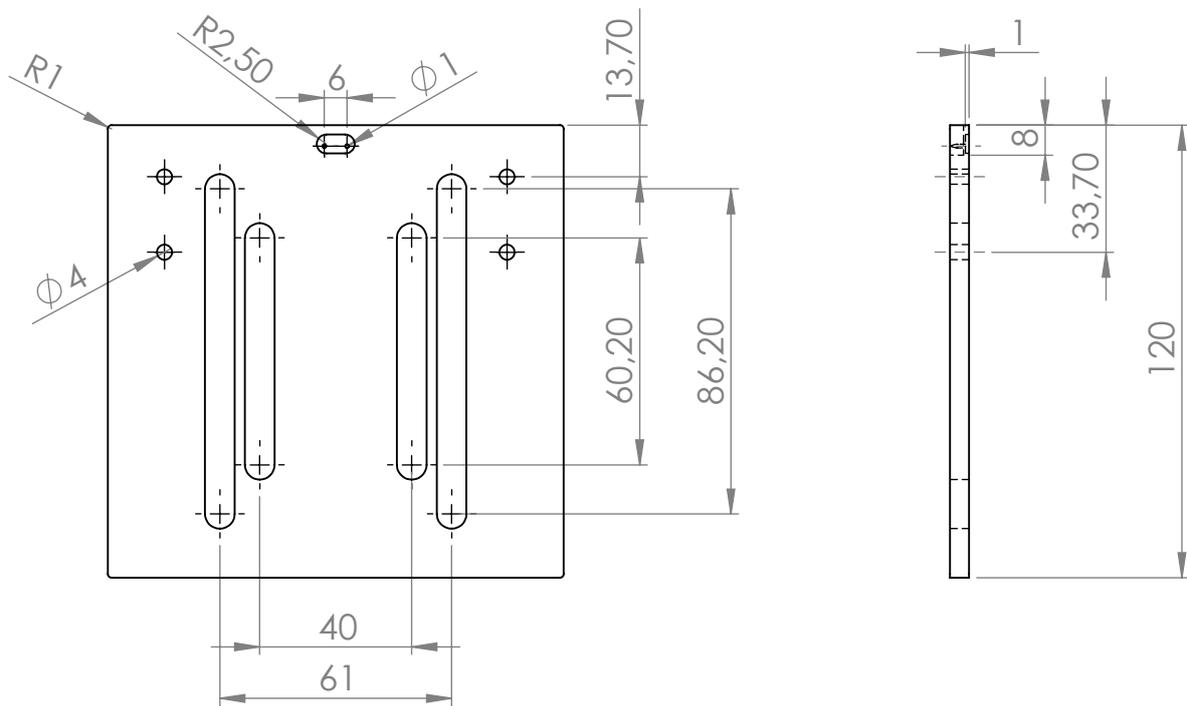
	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.		FIRMA			
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO	PLACA GUÍA 2
				ESCALA: 1:2	HOJA 6 DE 12



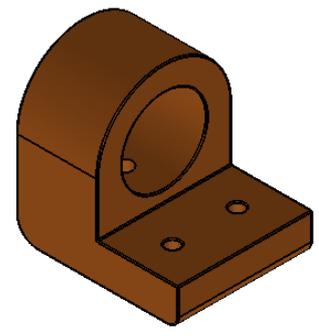
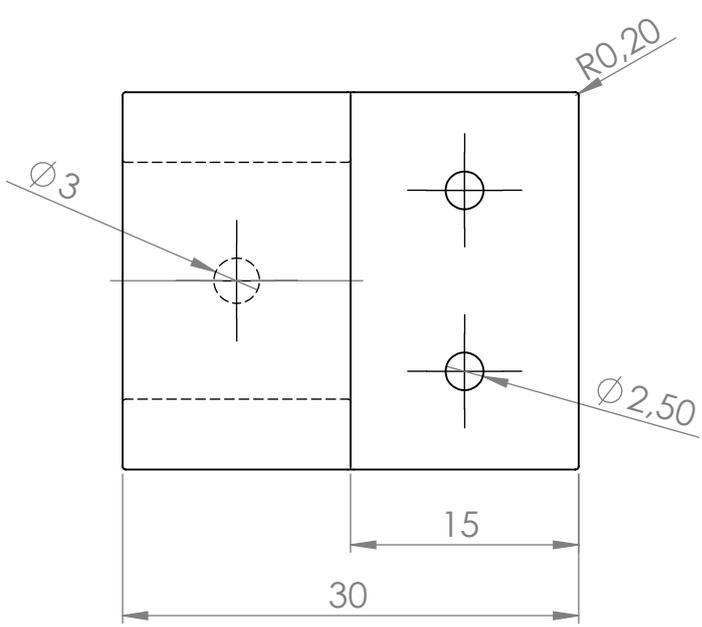
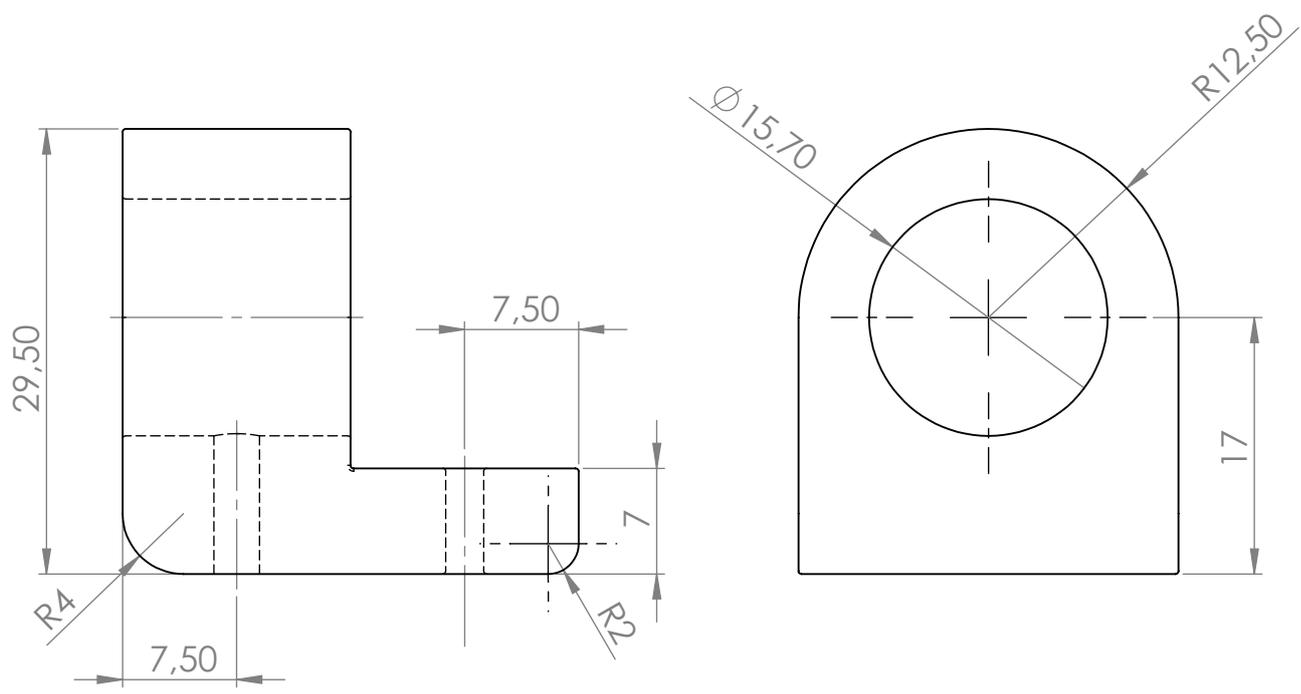
	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.			FIRMA	
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO PLACA GUÍA 3
			ESCALA: 1:2	A4 HOJA 7 DE 12



	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.			FIRMA	
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO PLACA GUIA 4
			ESCALA: 1:2	A4 HOJA 8 DE 12

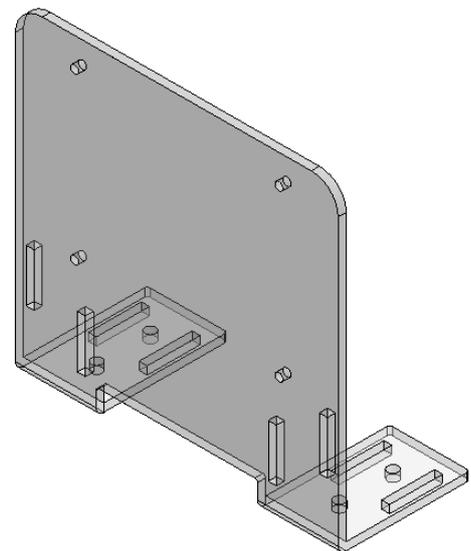
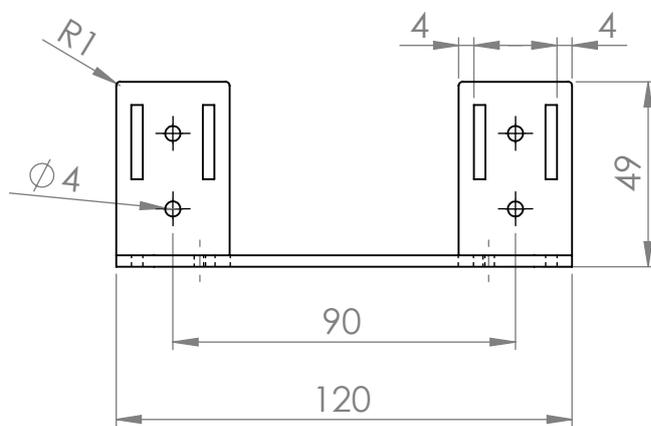
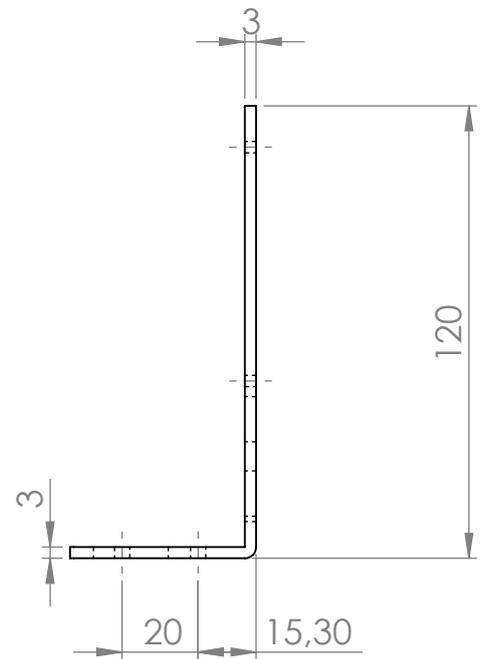
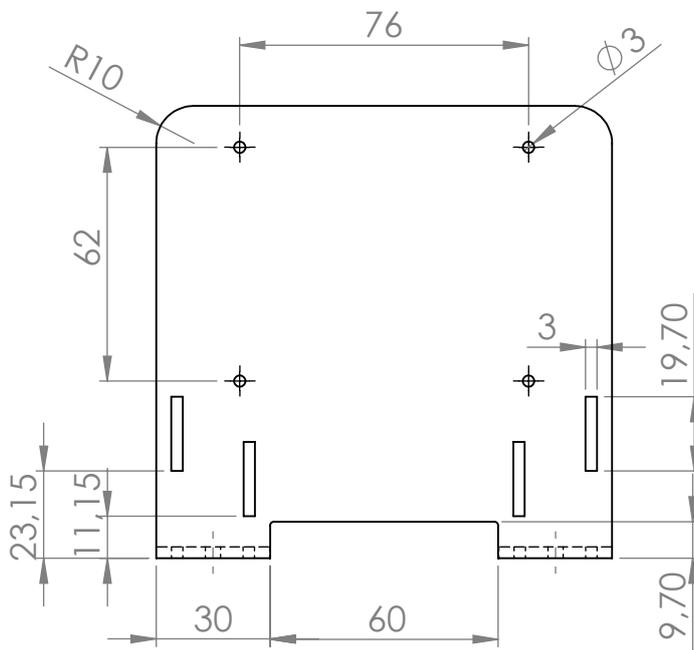


	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.		FIRMA			
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO		N.º DE DIBUJO	PLACA GUIA 5
		CURSO 2015/2016		ESCALA: 1:2	A4
				HOJA 9 DE 12	

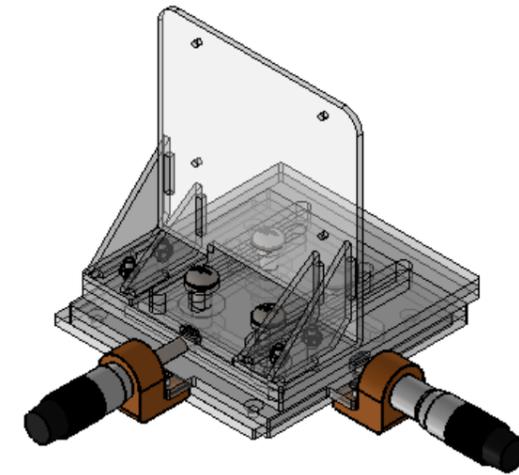
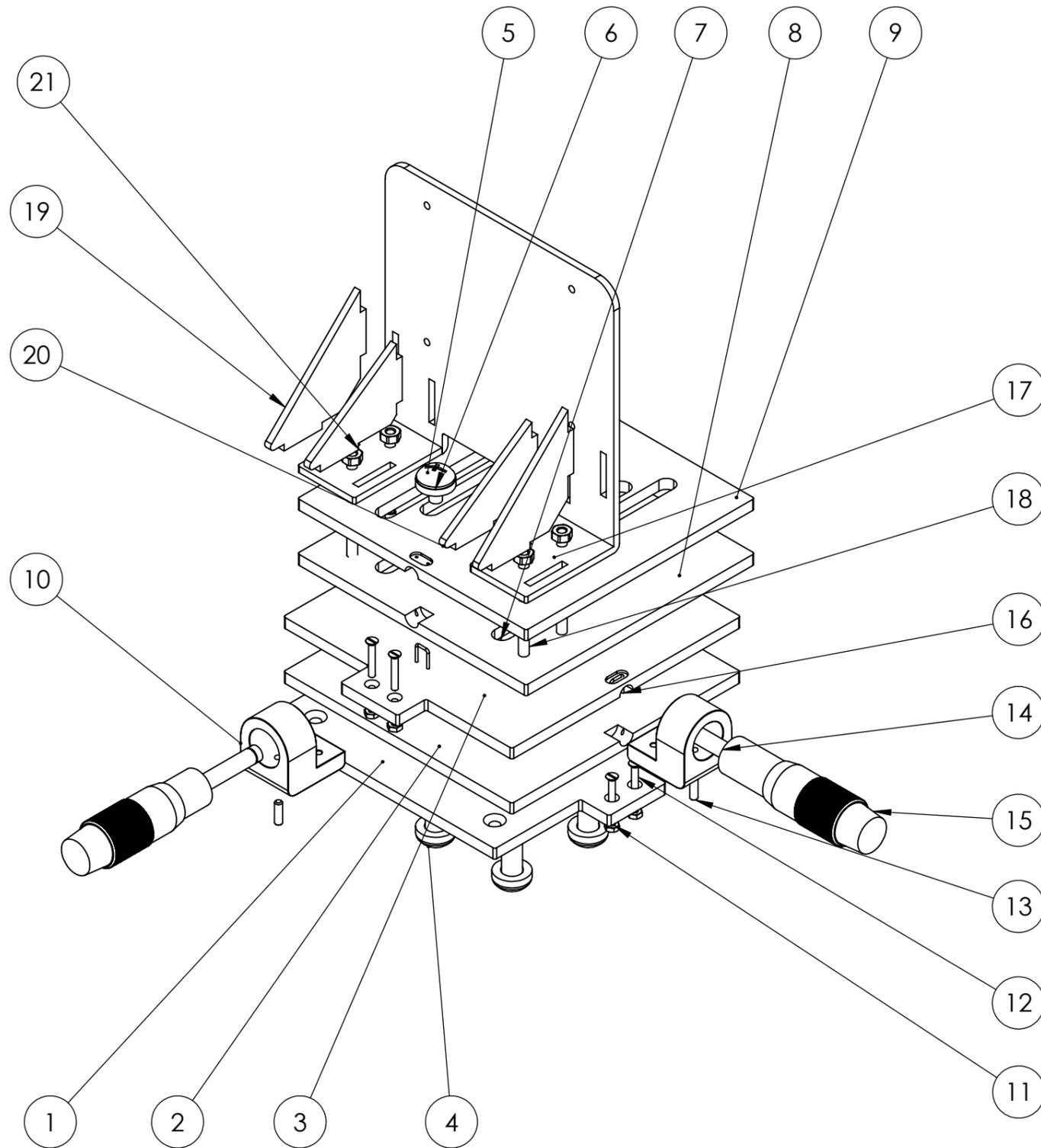


	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.		FIRMA		
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO SOPORTE MICRÓMETRO
			ESCALA:2:1	HOJA 10 DE 12

A4

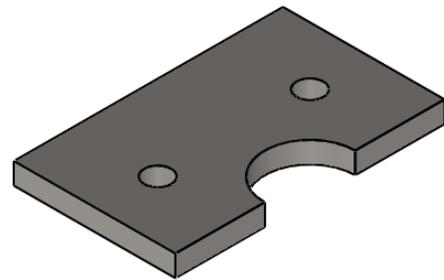
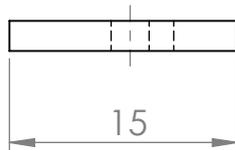
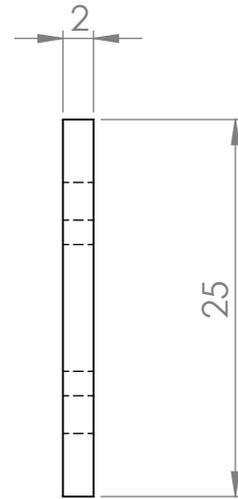
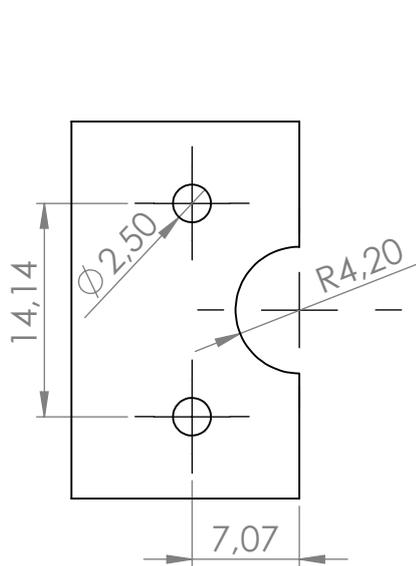


	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.			FIRMA	
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO SOPORTE ROTATIVO
			ESCALA: 1:2	HOJA 11 DE 12

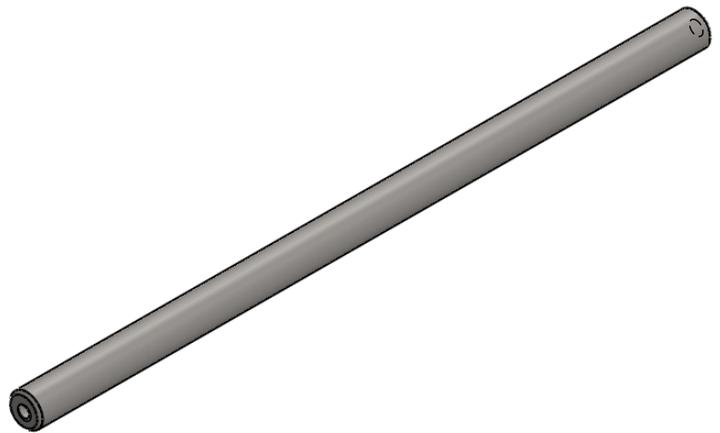
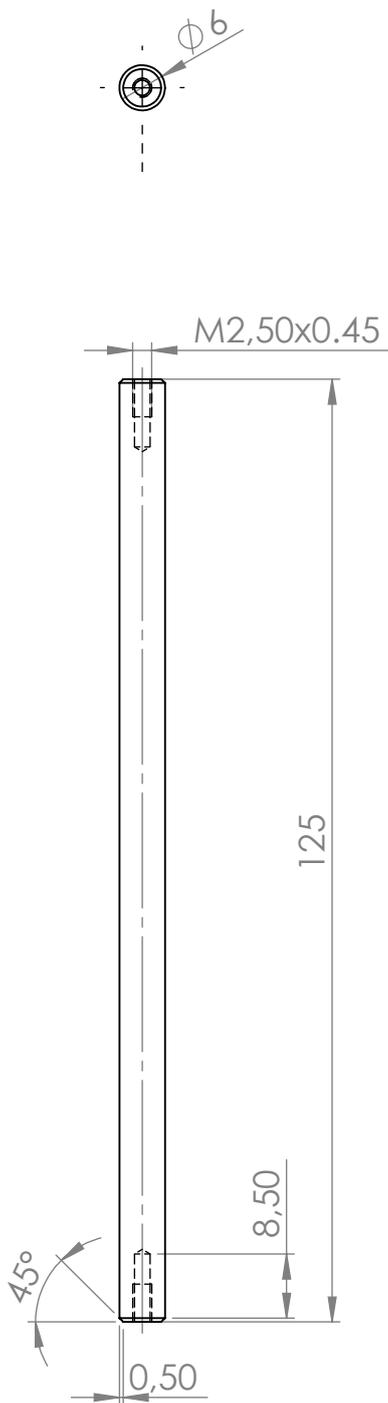


N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	Placa Guía 1	PMMA	1
2	Placa Guía 2	PMMA	1
3	Placa Guía 3	PMMA	1
4	Tornillo ensamblador M5 DIN 9056 (HEMBRA)	Acero	4
5	Tornillo ensamblador M5 DIN 9056 (MACHO)	Acero	4
6	Arandela 15x8.5x3	PMMA	8
7	Arandela 20x8.5x0.1	Acetato de celulosa	8
8	Placa Guía 4	PMMA	1
9	Placa Guía 5	PMMA	1
10	Soporte Micrómetro	ABS	2
11	Tuerca hexagonal M2.5 DIN 934	Acero	4
12	Tornillo M2.5 X 15 DIN 963	Acero	4
13	Tornillo M3 X 10 DIN 913	Acero	2
14	BLOQUE micrometro 1	Aluminio	2
15	VASTAGO micrometro 1	Acero Inox.	2
16	Grapa	Acero	2
17	Soporte Rotativo	PMMA	1
18	Tornillo M4 X 20 DIN 963	Acero	4
19	Escuadra 45°	PMMA	2
20	Escuadra 35°	PMMA	2
21	Tuerca hexagonal M4 DIN 934	Acero	4

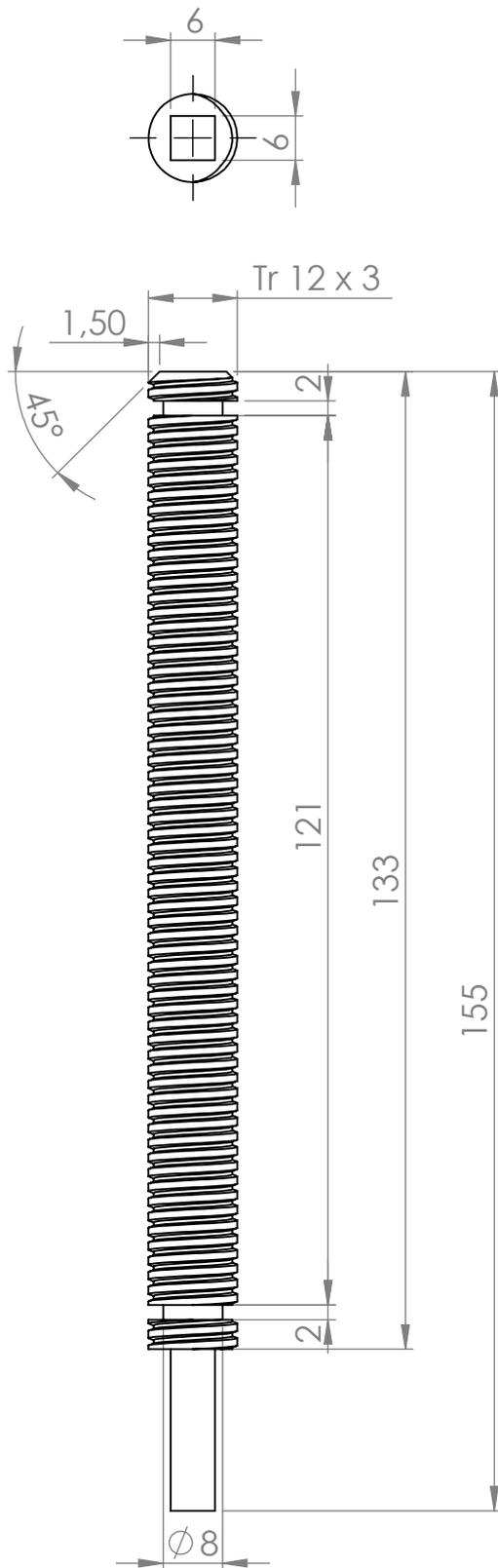
NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ. Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.		FIRMA	
FABR. Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			N.º DE DIBUJO
			CONJUNTO MESA XY
GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO			A3
CURSO 2015/2016			ESCALA:1:2
			HOJA 12 DE 12



	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.		FIRMA			
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO:	CHAPA DE UNIÓN
				ESCALA:2:1	HOJA 13

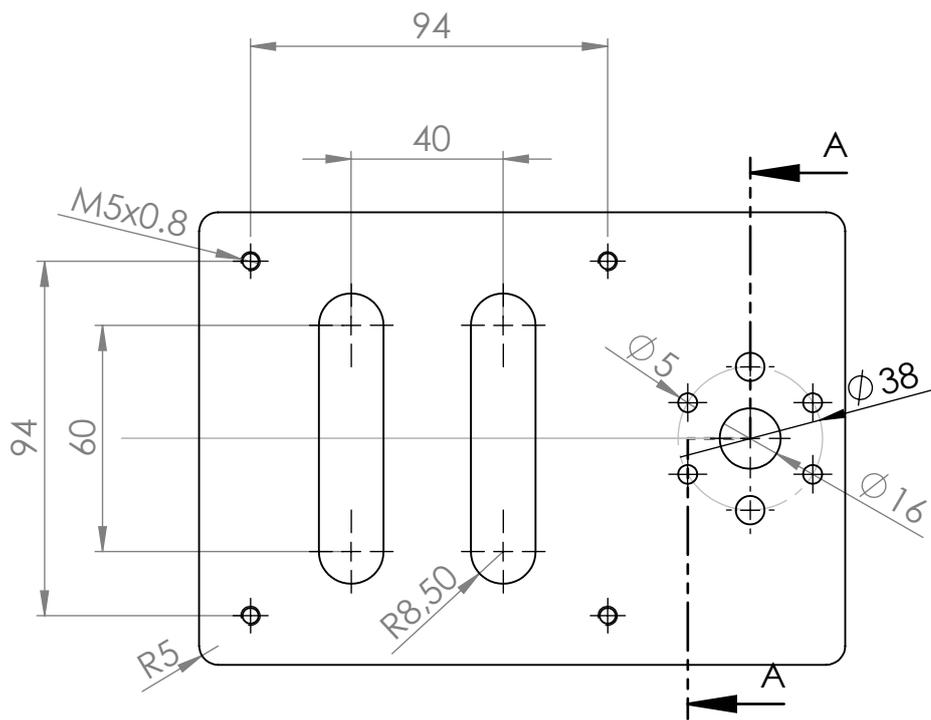


	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.		FIRMA			
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO:	GUÍA CALIBRADA
				ESCALA: 1:1	A4
				HOJA 14	

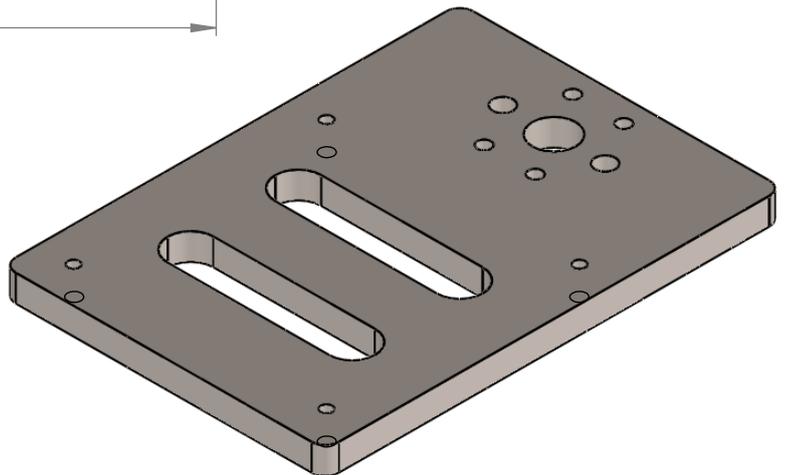
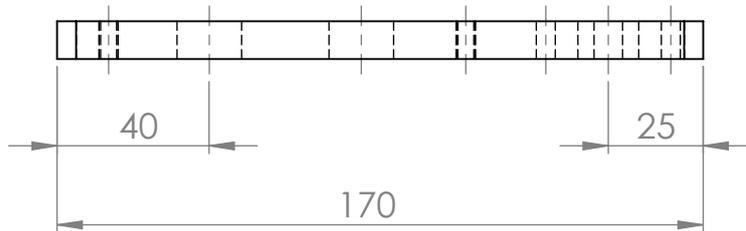


	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:
VERIF.			FIRMA
FABR.	Julio Sánchez Gracia		
	Ángel Jaraba Rubio		

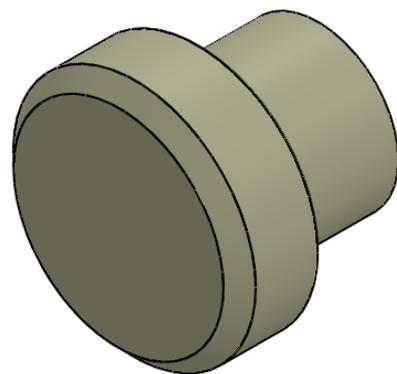
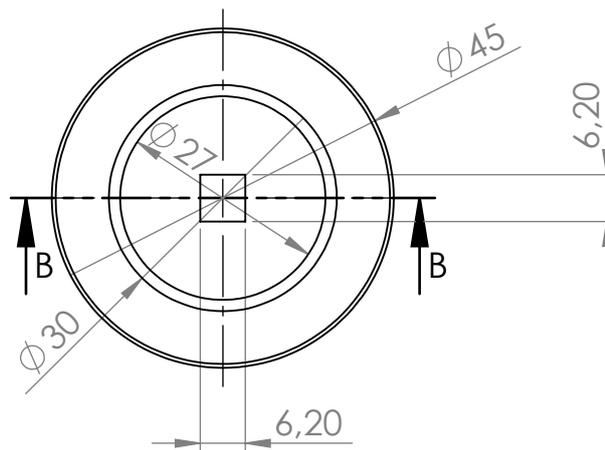
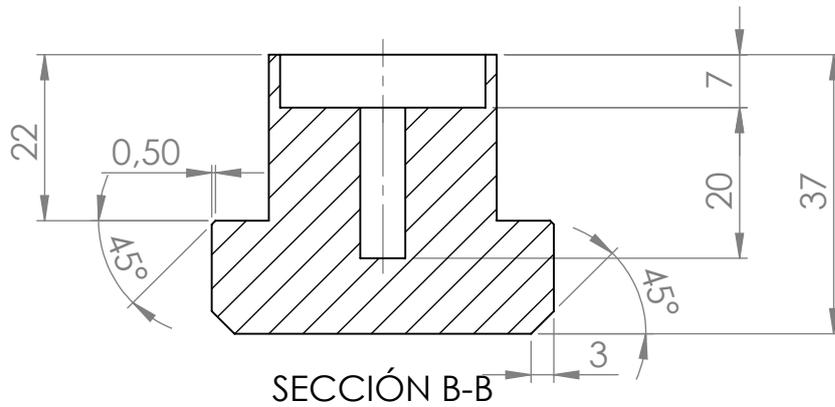
TÍTULO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
N.º DE DIBUJO:	HUSILLO	A4



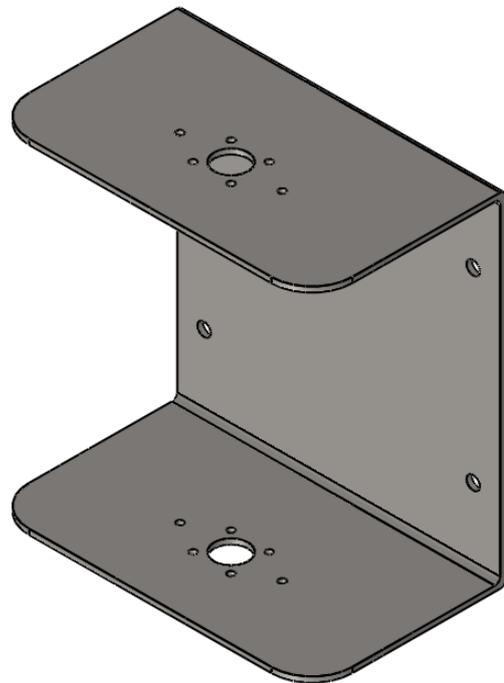
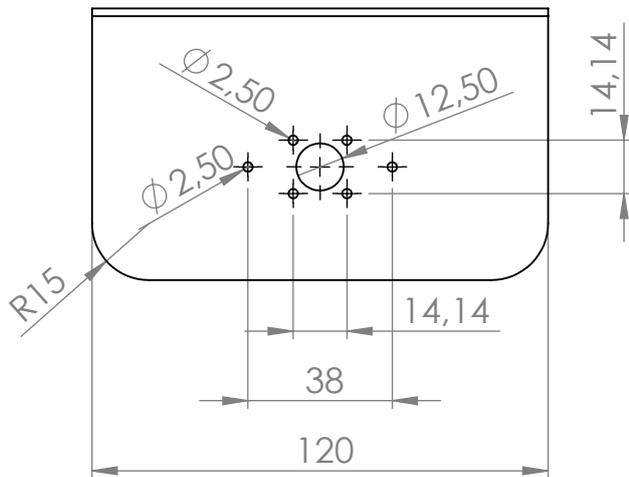
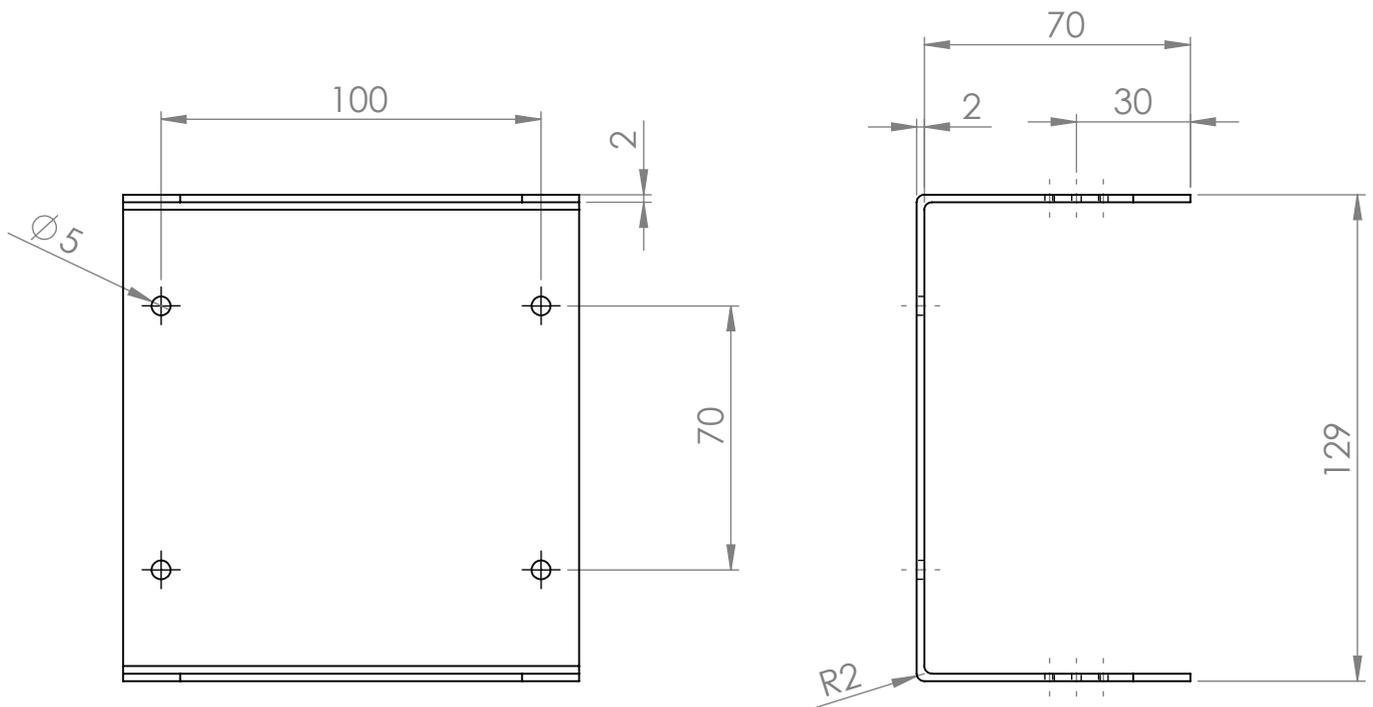
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2



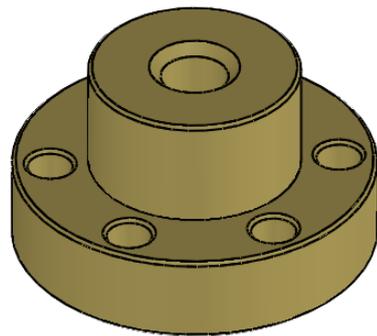
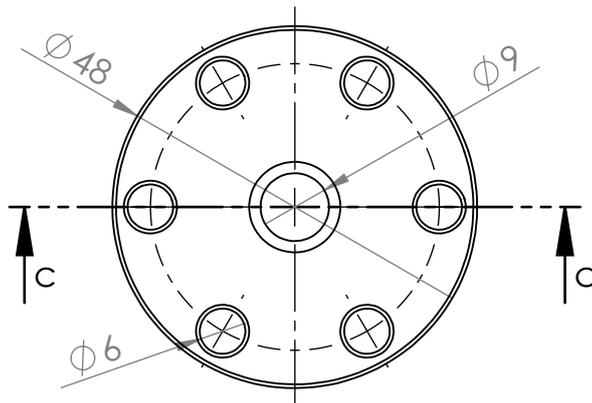
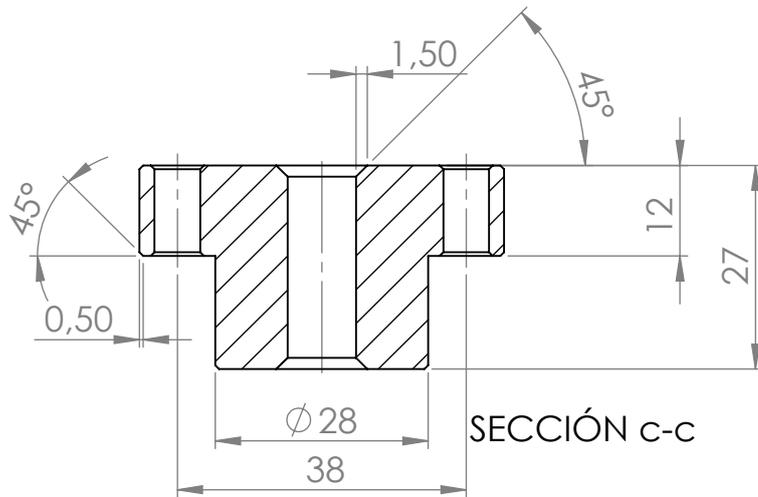
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.			FIRMA:	
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO: MESA BASE
			ESCALA: 1:2	HOJA 16



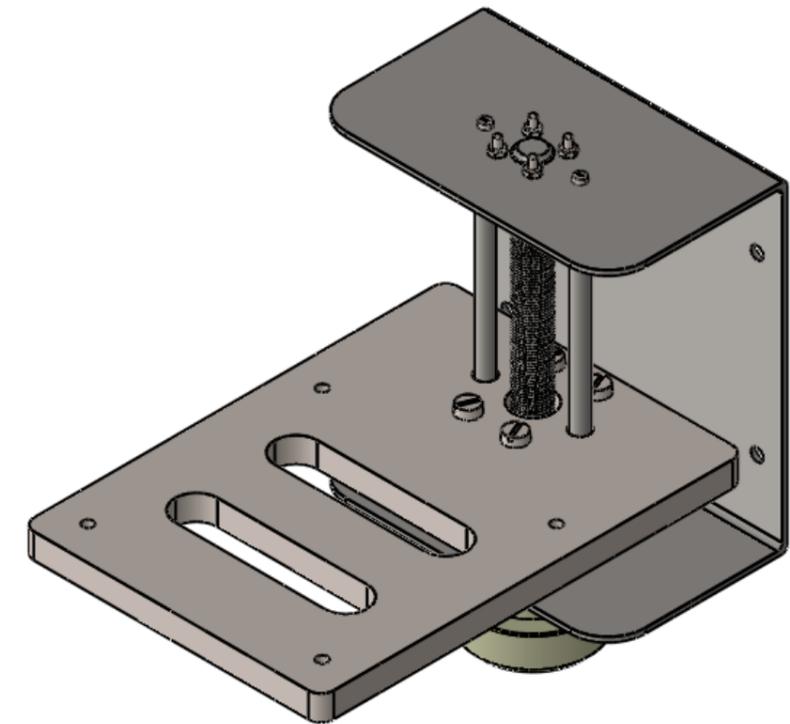
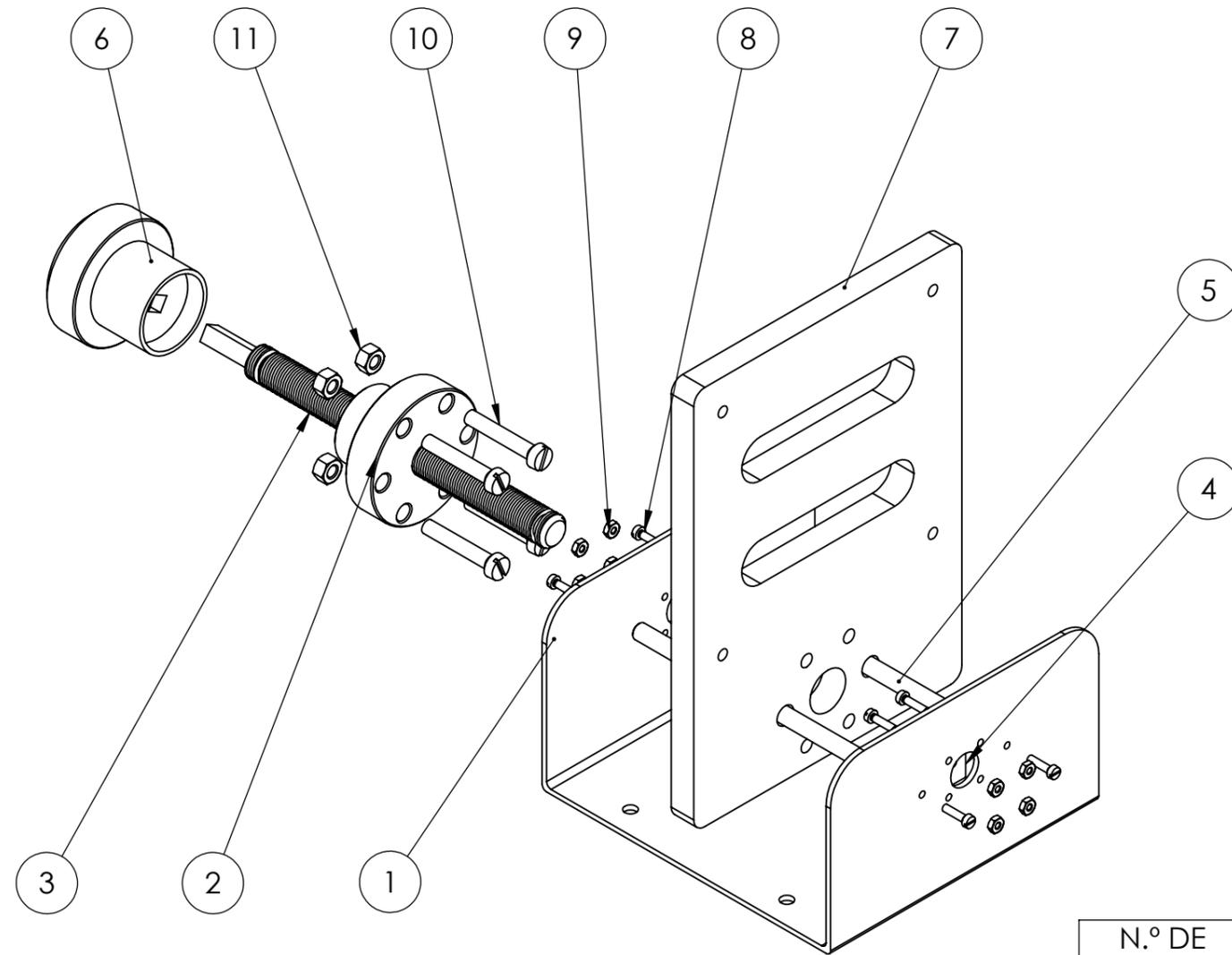
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.			FIRMA:	
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO: POMO
			ESCALA: 1:1	HOJA 17



	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.			FIRMA	
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO: SOPORTE PRINCIPAL
			ESCALA: 1:2	HOJA 18

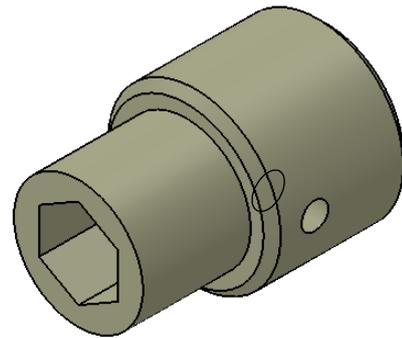
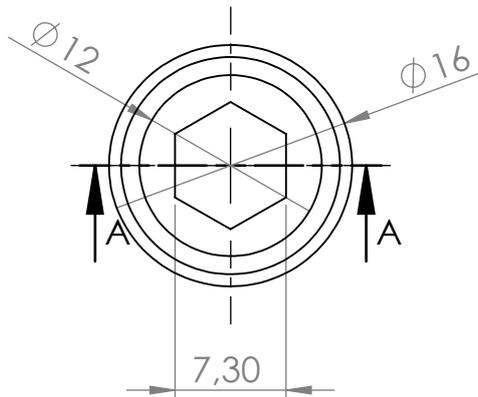
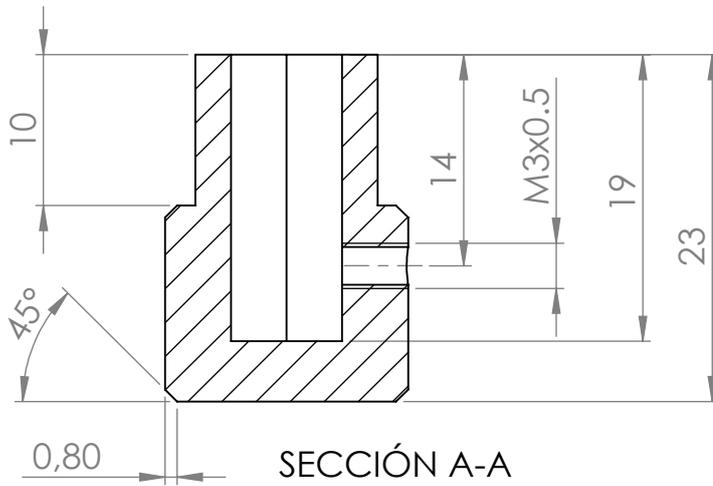


	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.		FIRMA		
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO: TUERCA-BRIDA
			ESCALA: 1:1	HOJA 19

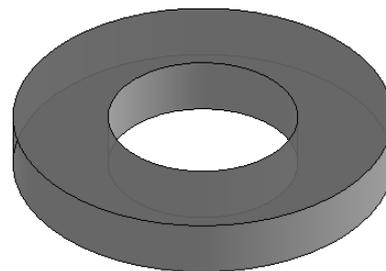
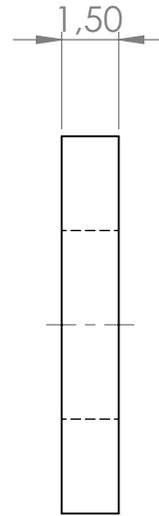
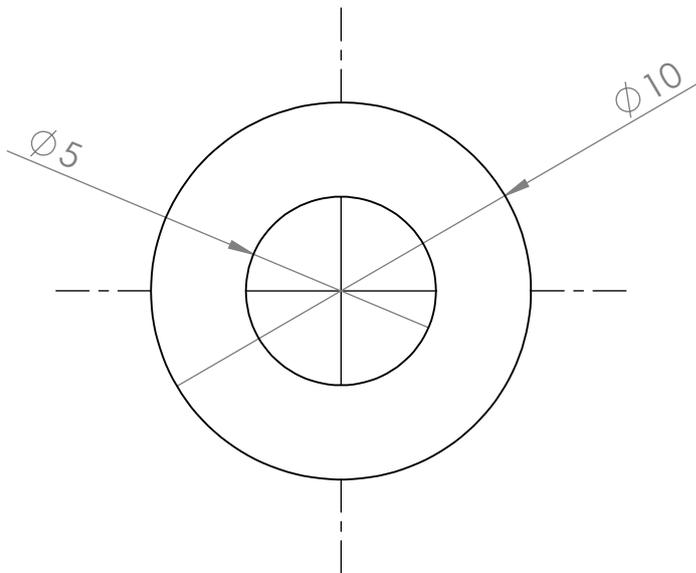


N.º DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	Soporte Principal	Acero inox.	1
2	Tuerca-brid	W 300	1
3	Husillo 12 x 3	Acero Fino	1
4	Chapa de unión	Acero inox.	4
5	Guía calibrada	Acero	2
6	Pomo	PA 2200	1
7	Mesa base	Aluminio	1
8	Tornillo M2.5 x 10 DIN 84	Acero	12
9	Tuerca hexagonal M2.5 DIN 934	Acero	8
10	Tornillo M5 x 30 DIN 84	Acero	4
11	Tuerca hexagonal M5 DIN 934	Acero	4

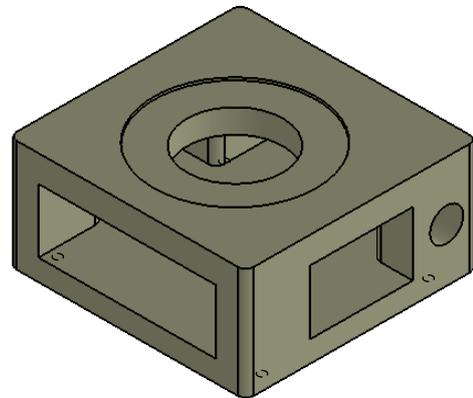
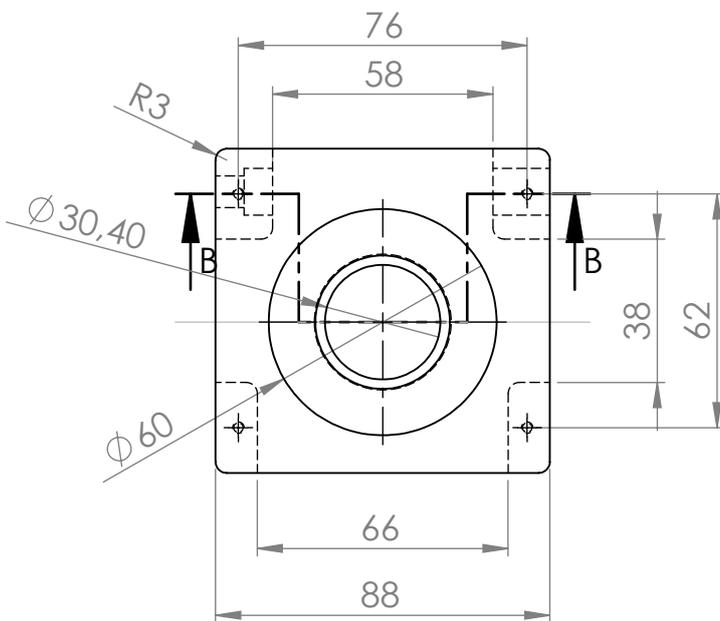
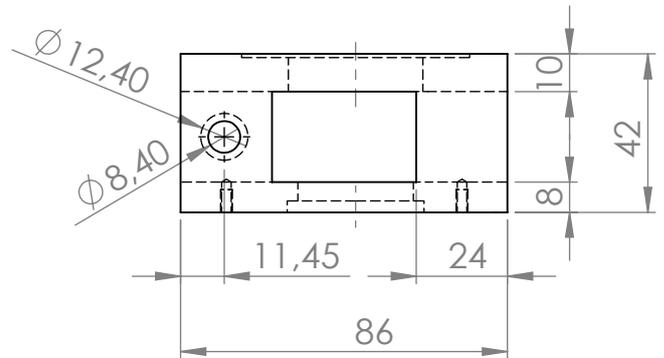
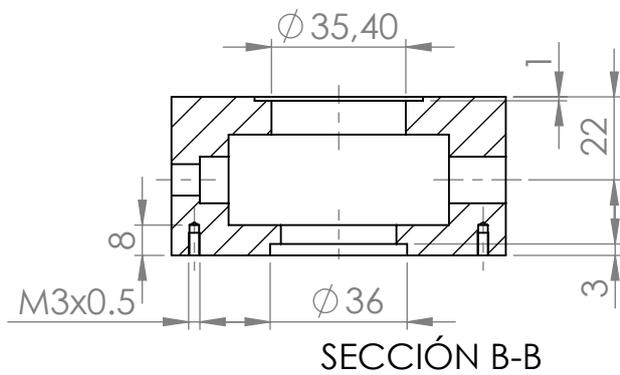
NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ. Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.		FIRMA	
FABR. Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
 GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016			N.º DE DIBUJO CONJUNTO MESA Z
			ESCALA: 1:2 HOJA 20



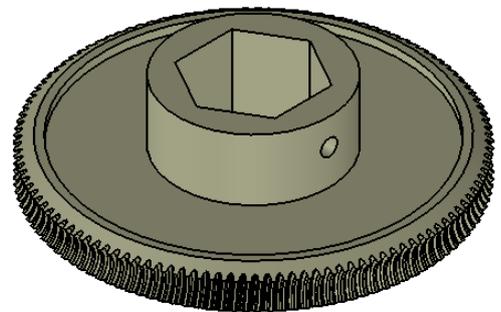
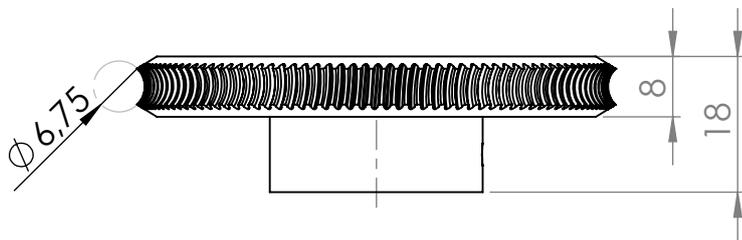
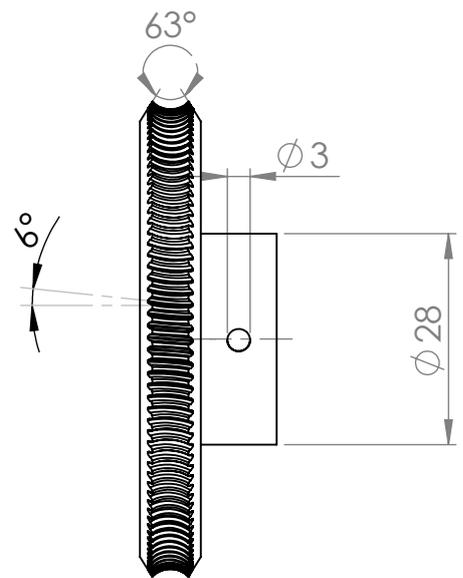
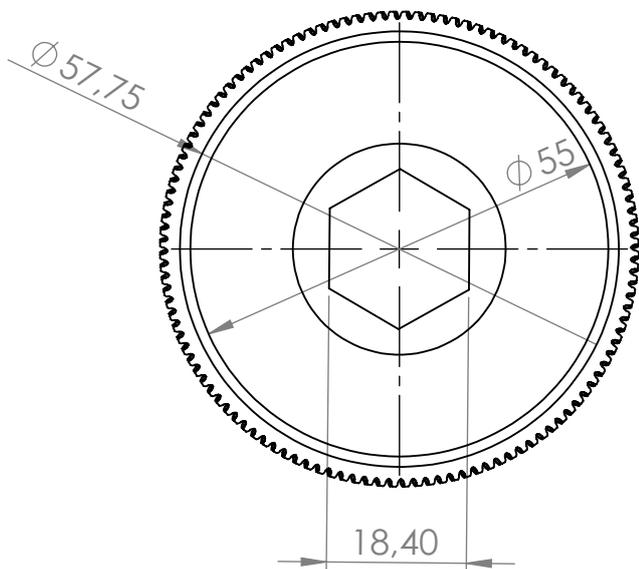
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.			FIRMA:	
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
 GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016				N.º DE DIBUJO: ACCIONADOR MANUAL
				ESCALA: 2:1
				HOJA 21



	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO: MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:		
VERIF.			FIRMA		
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO: ARANDELA	A4
			ESCALA:5:1	HOJA 22	

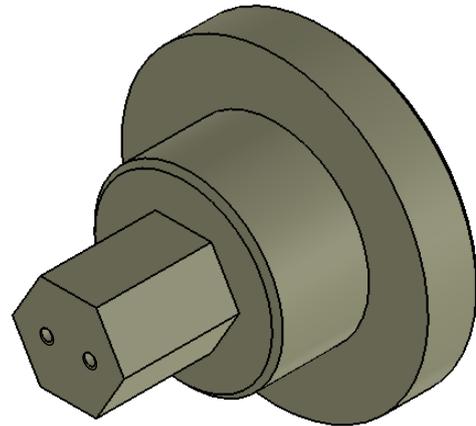
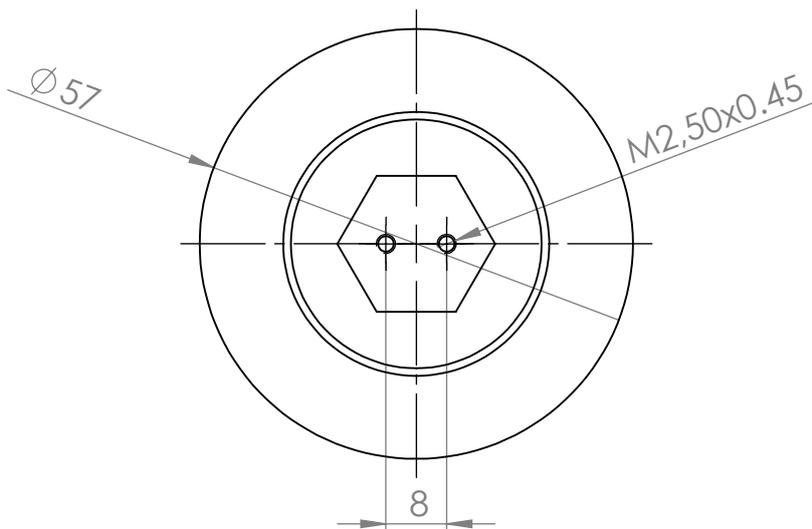
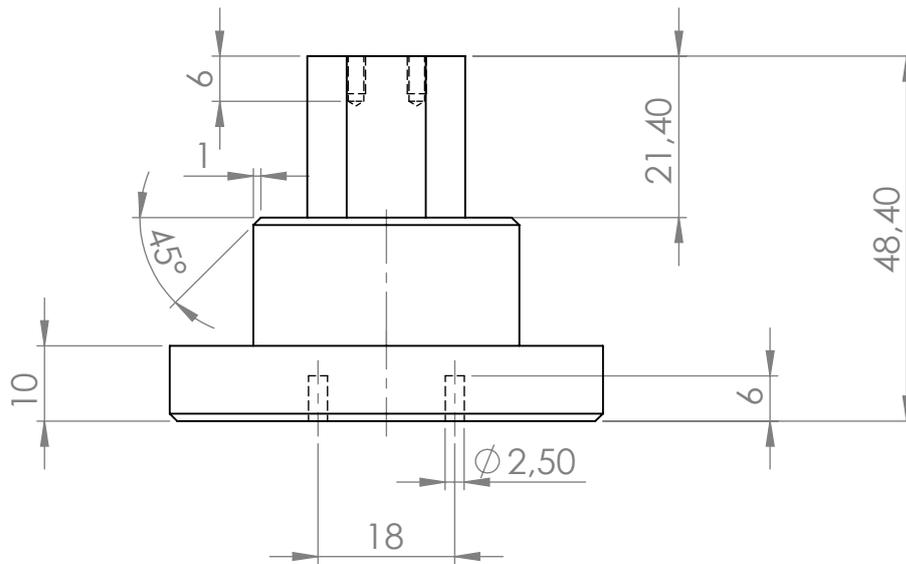


	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.			FIRMA	
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO: BLOQUE PRINCIPAL
			ESCALA: 1:2	HOJA 23

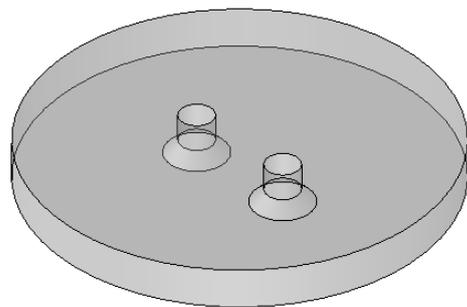
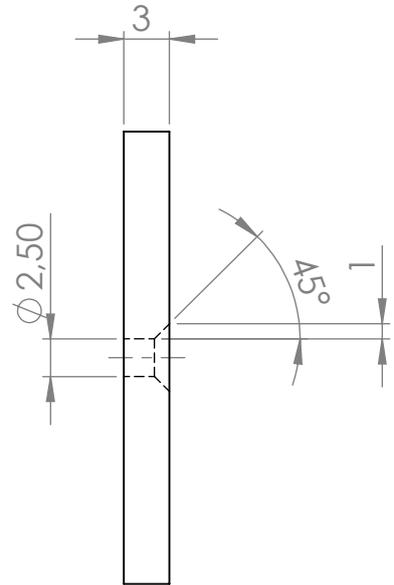
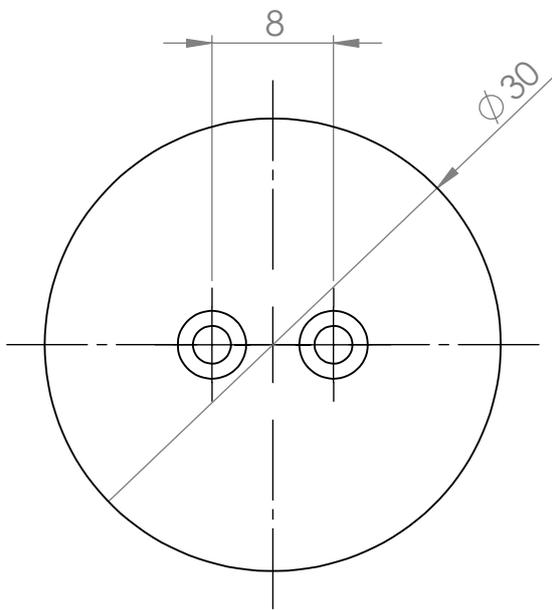


Módulo Normal	0.5 mm
Numero de Dientes	120
Diámetro Primitivo	60mm
Distancia entre ejes	33.5mm
Ángulo de la hélice	6°
Sentido de la hélice	A derechas
Nº de hilos (conjugado)	1

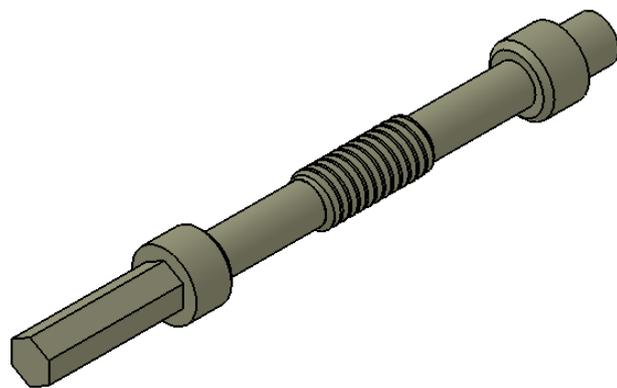
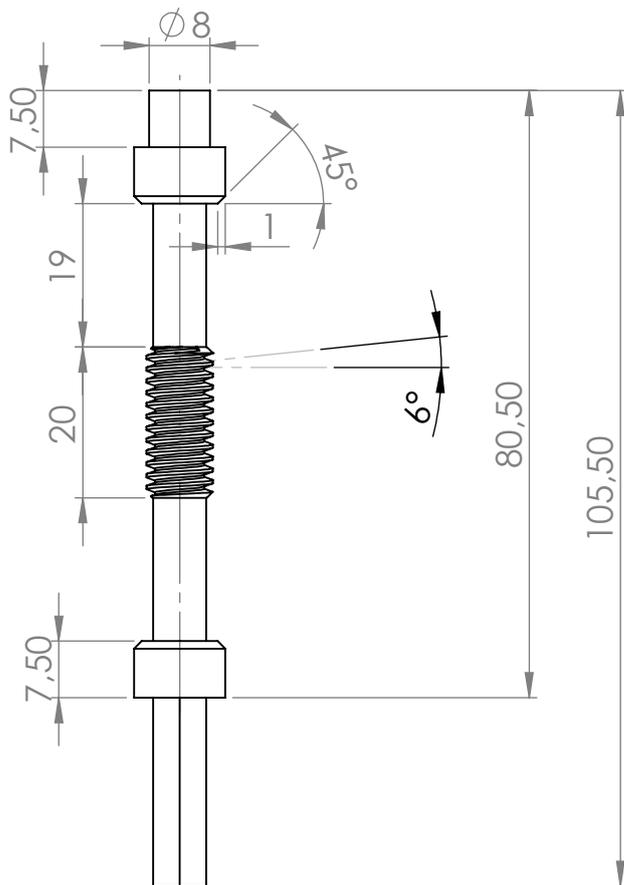
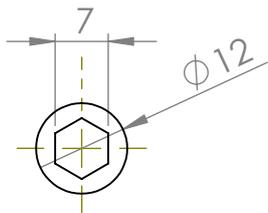
NOMBRE:		FECHA:		MATERIAL:		TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia			PESO:		MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.				FIRMA			
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio						
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016				N.º DE DIBUJO:	
						CORONA	
ESCALA: 1:1						HOJA 24	



	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.		FIRMA		
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
 GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016				N.º DE DIBUJO: ROTOR
				ESCALA: 1:1 HOJA 25



	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.			FIRMA	
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO:
				TAPA
				ESCALA:2:1
				HOJA 26
				A4



Módulo Normal	0.5mm
Diámetro Primitivo	7mm
Distancia entre ejes	33.5mm
Ángulo de la hélice	6°
Sentido de la hélice	A derechas
Nº de hilos	1
Nº de dientes (conjugado)	120

NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:
DIBUJ. Julio Sánchez Gracia		PESO:
VERIF.		FIRMA
FABR. Julio Sánchez Gracia		
Ángel Jaraba Rubio		

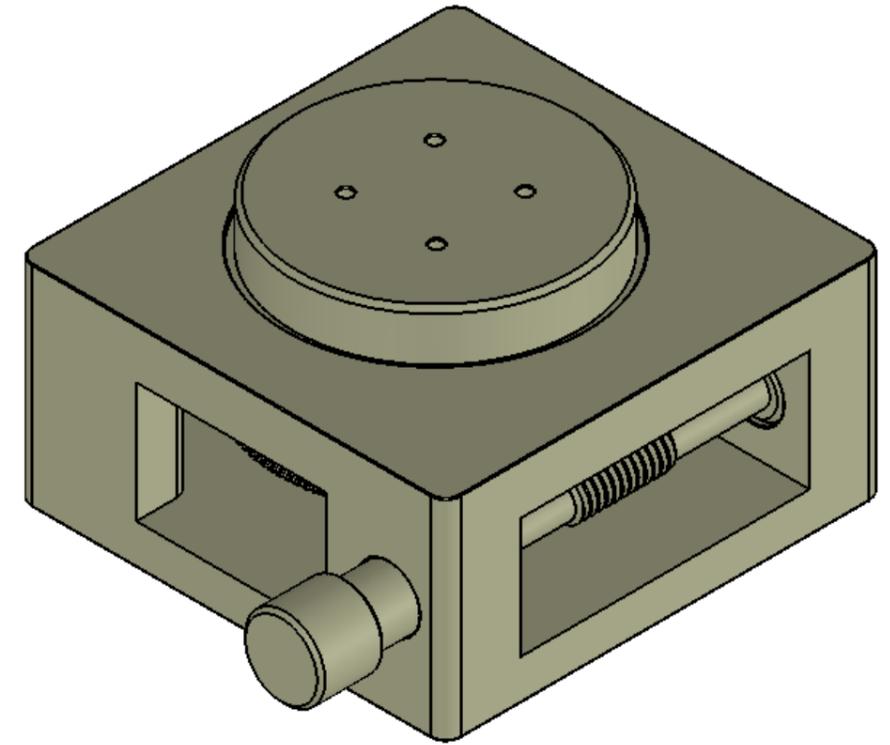
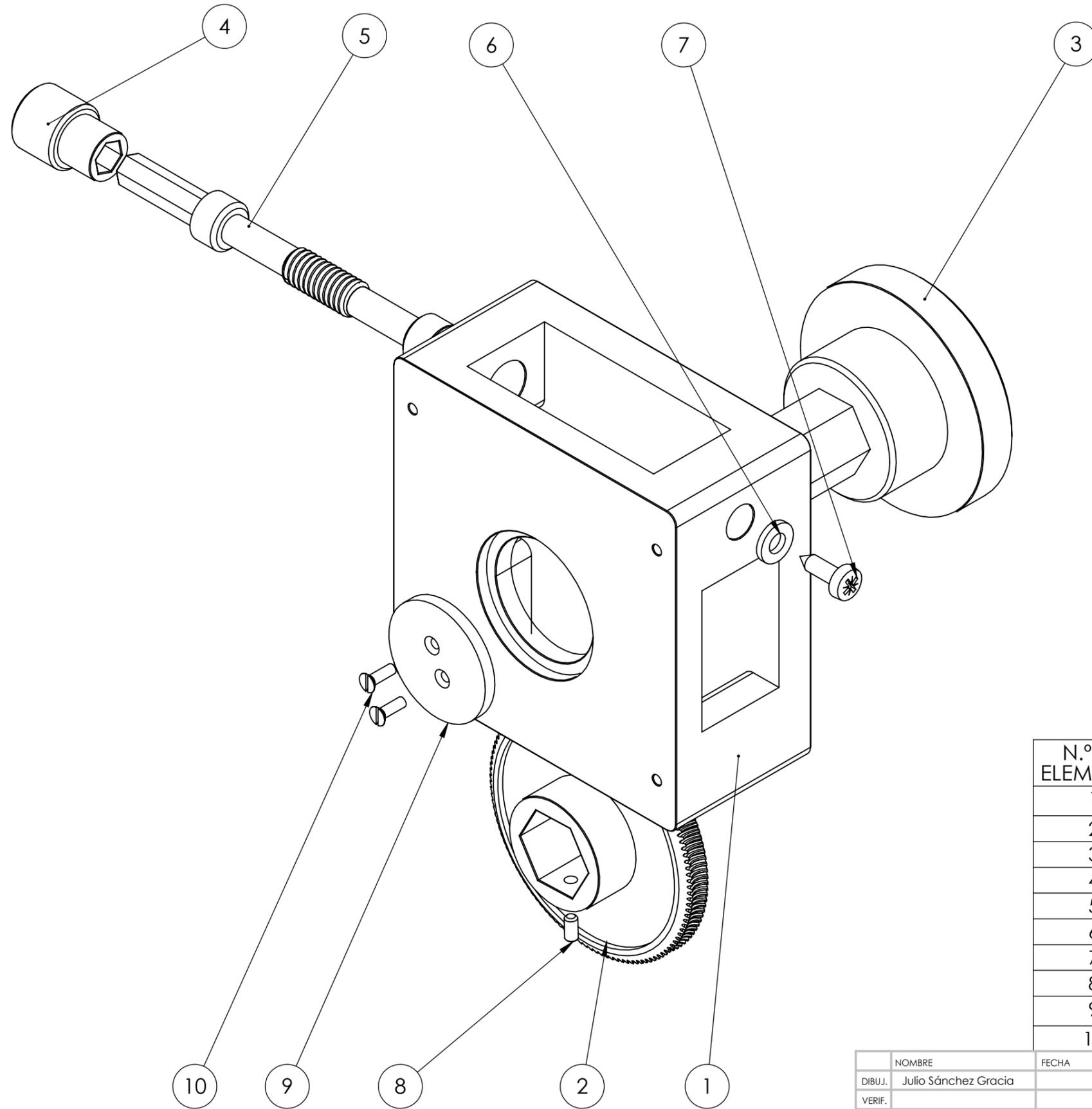
TÍTULO:
**MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE
 ALTERNO DE CAMPO (AGM)**



GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO
 CURSO 2015/2016

N.º DE DIBUJO:
TORNILLO SINFIN

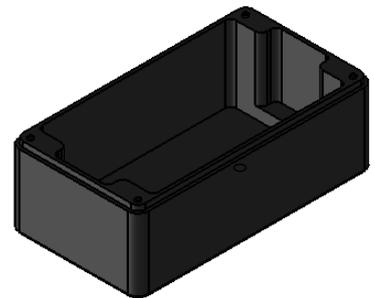
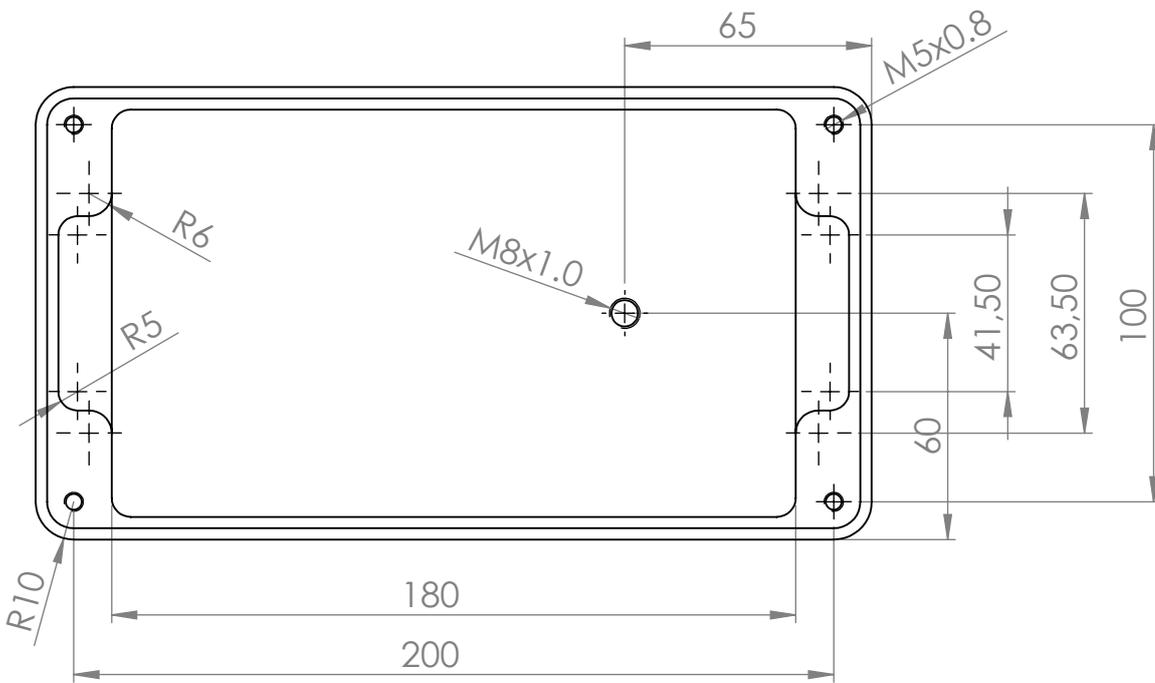
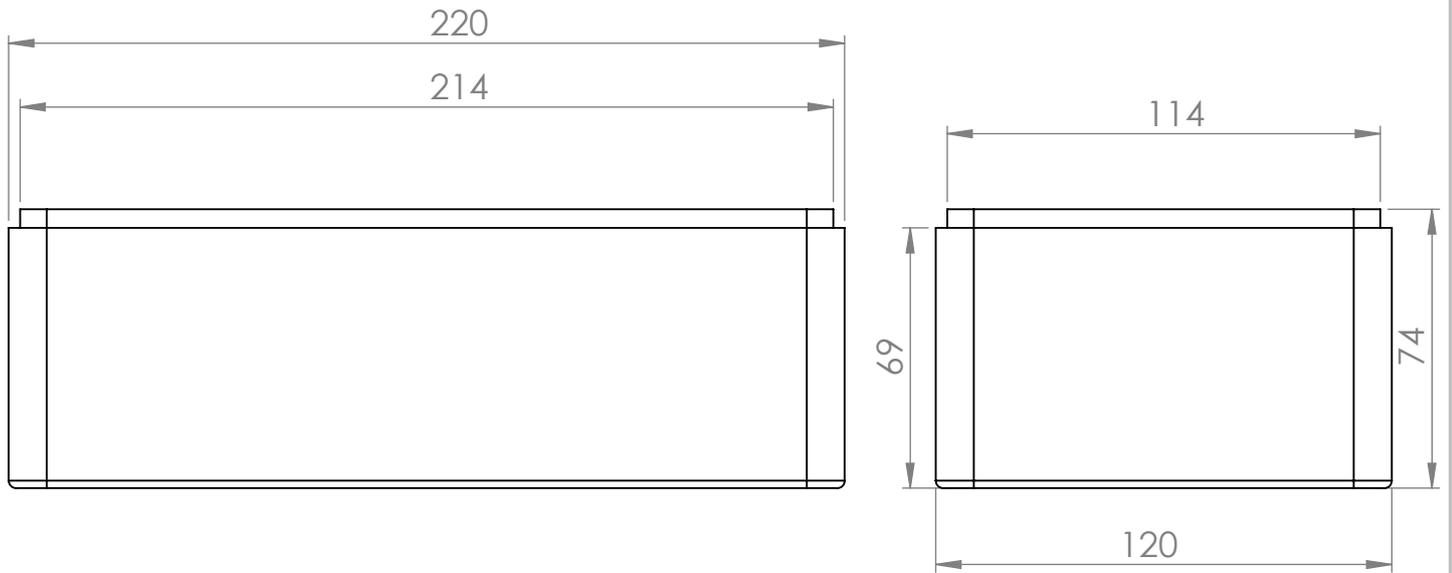
A4



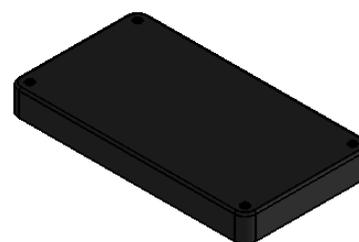
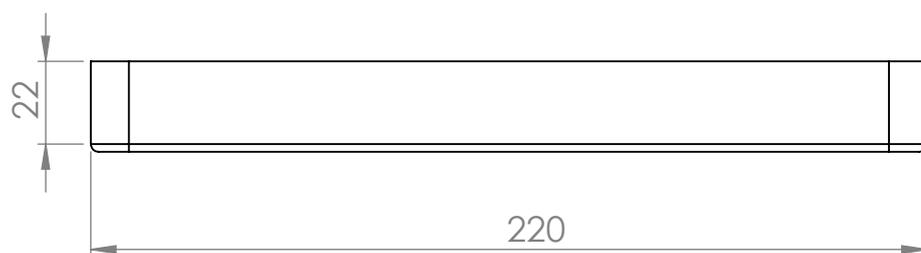
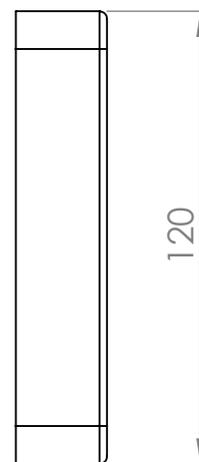
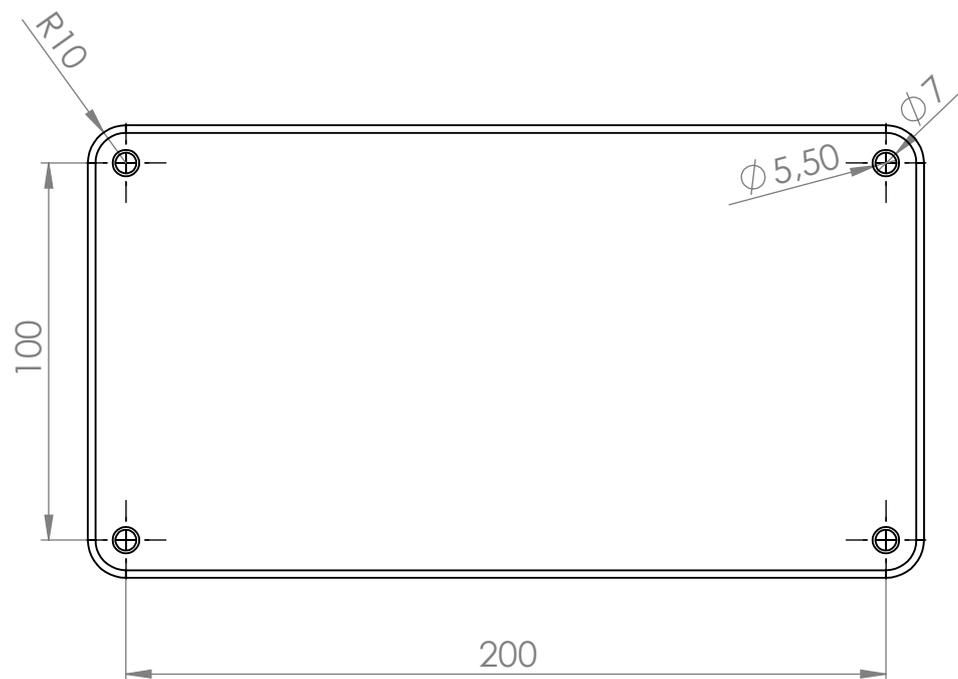
N.º DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	Bloque principal	PA 2200	1
2	Corona	PA 2200	1
3	Rotor	PA 2200	1
4	Accionador manual	PA 2200	1
5	Tornillo sinfín	PA 2200	1
6	Arandela 10x5x1.5	PTFE	1
7	Tornillo D4 X 13 DIN 571	Acero	1
8	Tornillo M3 X 6 DIN 913	Acero	1
9	Tapa	PMMA	1
10	Tornillo M2.5 X 8 DIN 963	Acero	2

NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ. Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.		FIRMA	
FABR. Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			N.º DE DIBUJO
upna Universidad Politécnica de Navarra Sistema Universitario Español	GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016	CONJUNTO POSICIONADOR ROTATIVO	
		ESCALA:1:1	HOJA 28

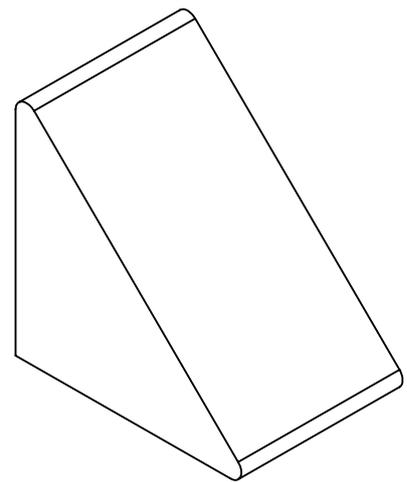
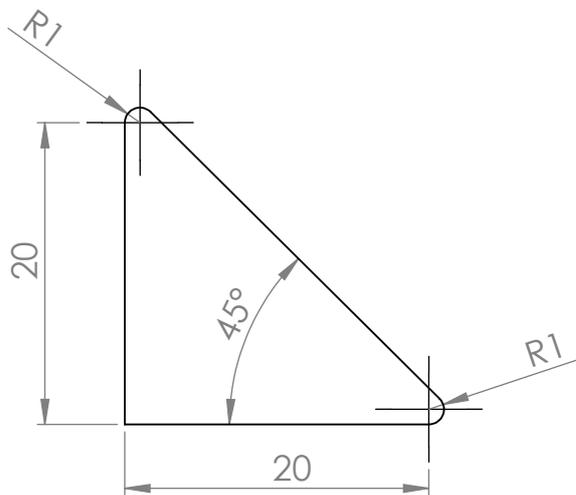
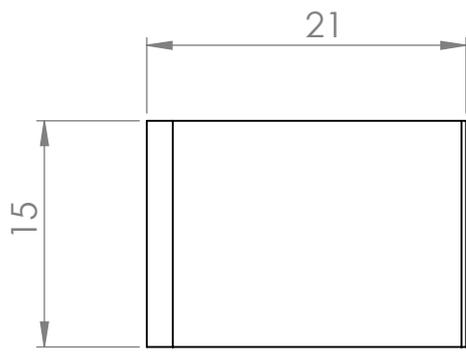
A3



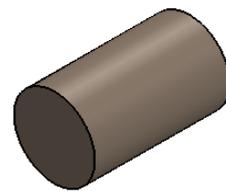
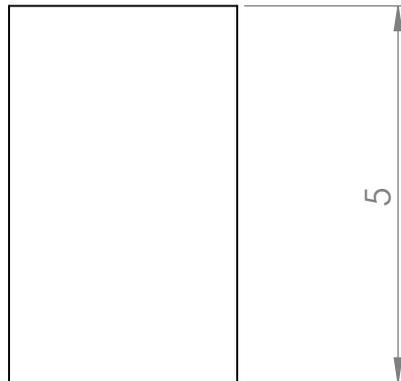
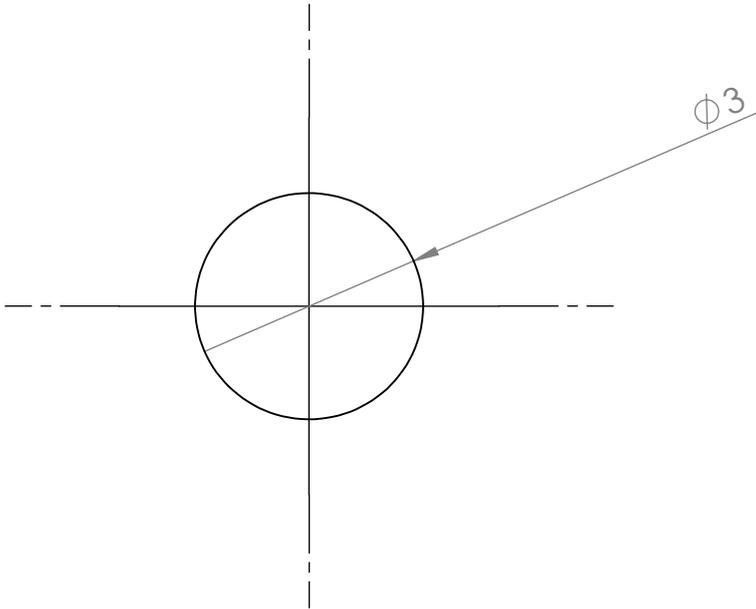
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.		FIRMA		
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO: CAJA DE VACÍO (INFERIOR)
			ESCALA: 1:2	HOJA 29
				A4



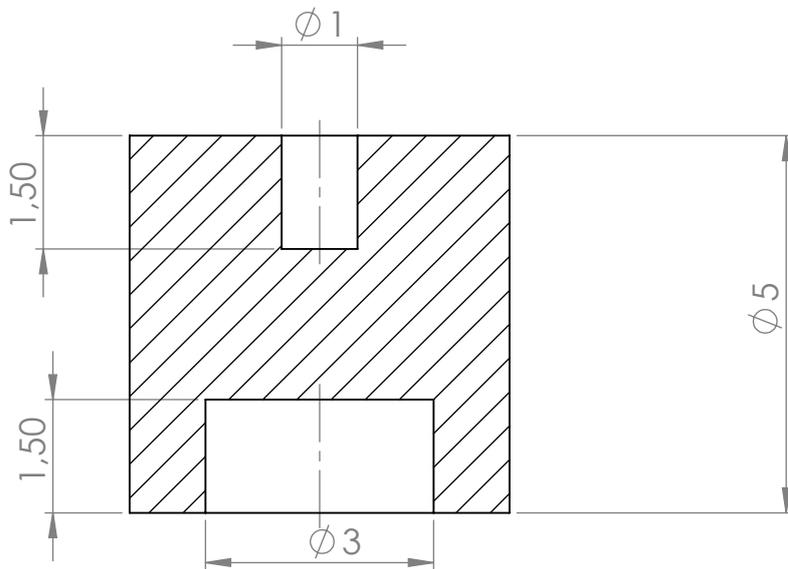
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.		FIRMA		
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO: CAJA DE VACÍO (SUPERIOR)
			ESCALA: 1:2	HOJA 30
				A4



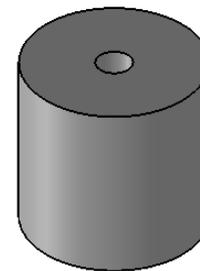
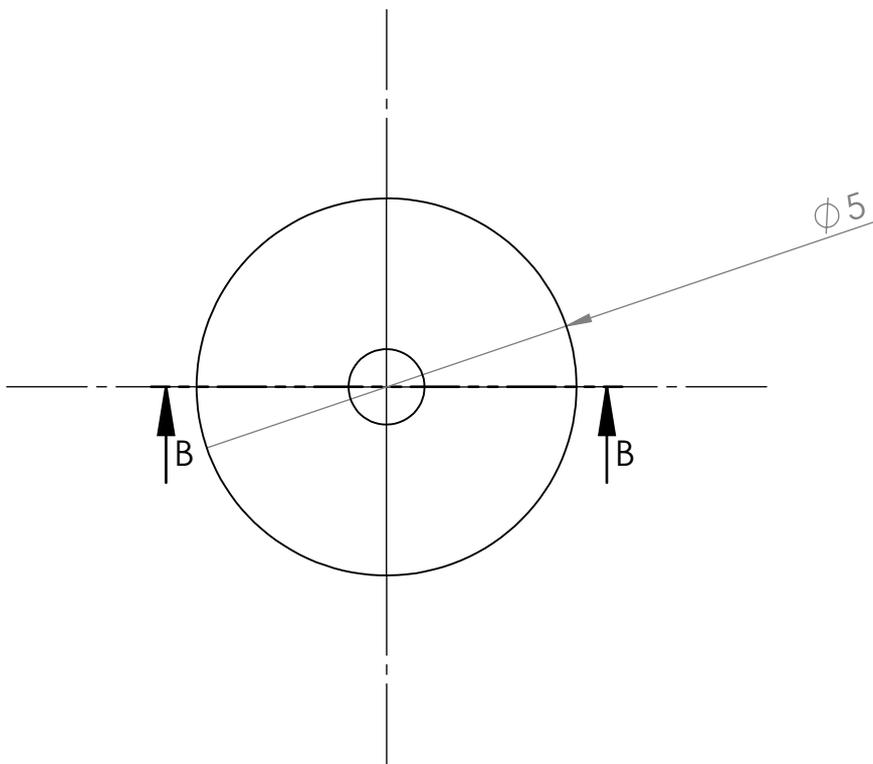
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.		FIRMA			
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO:	ESPEJO 2
				ESCALA:2:1	HOJA 31



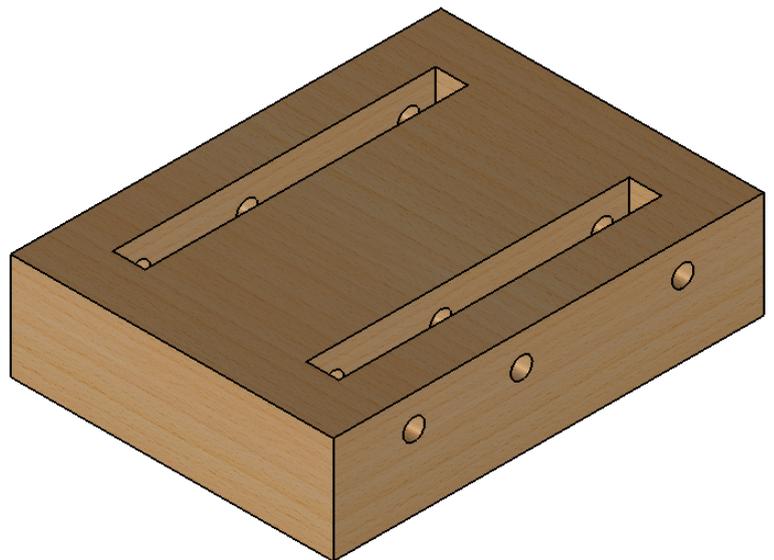
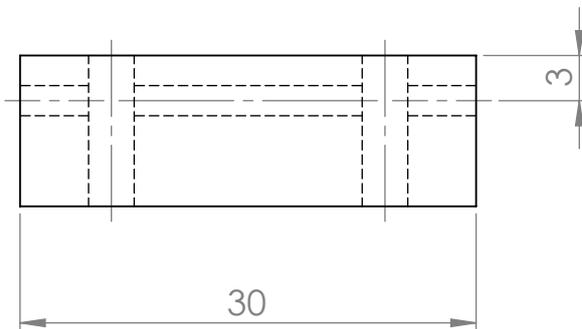
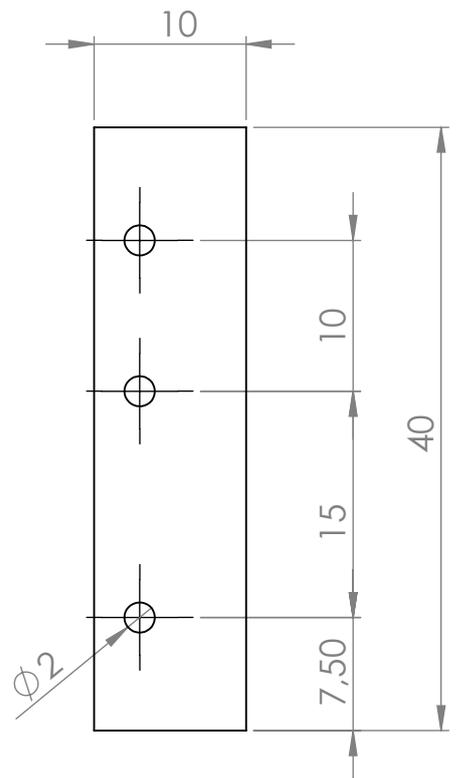
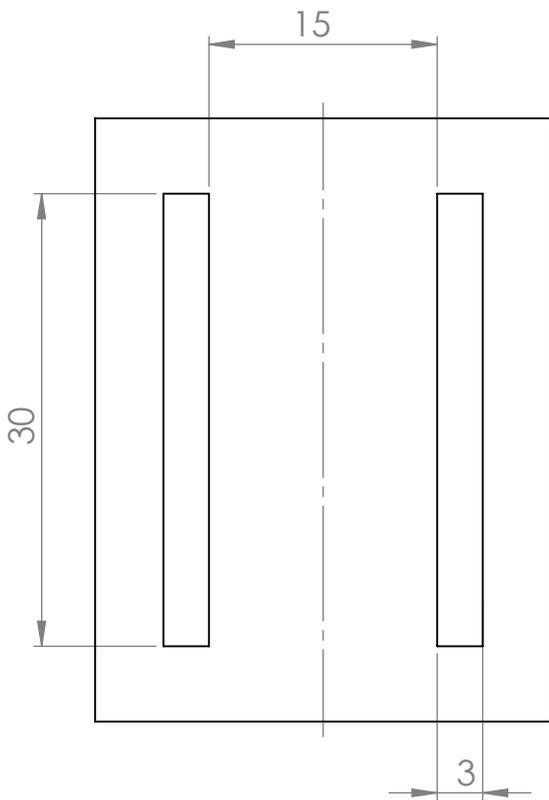
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.		FIRMA:			
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO:	MUESTRA
				A4	
				ESCALA:10:1	HOJA 32



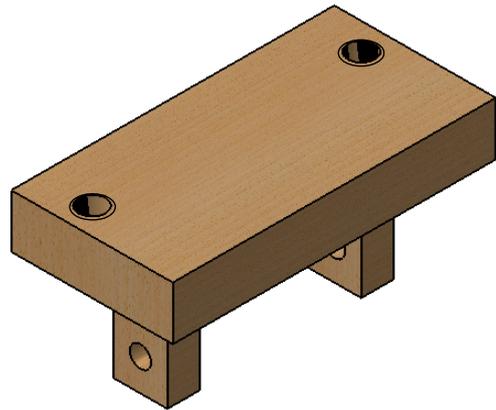
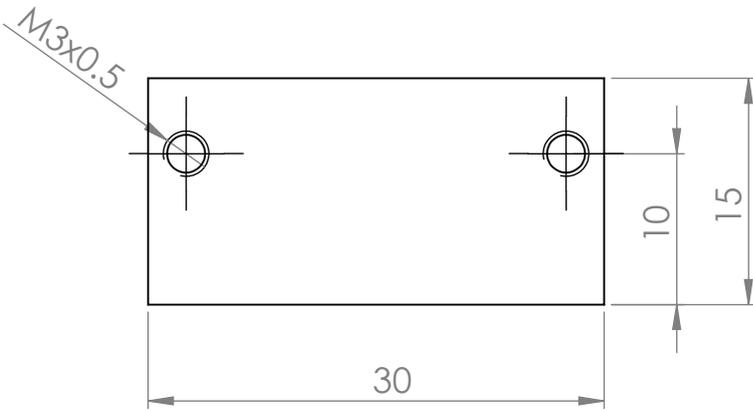
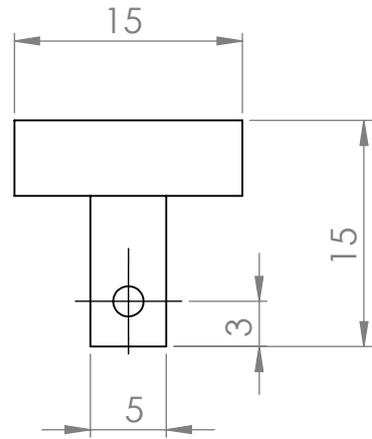
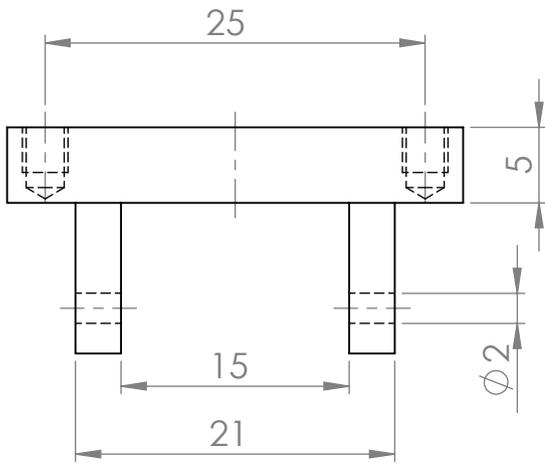
SECCIÓN B-B



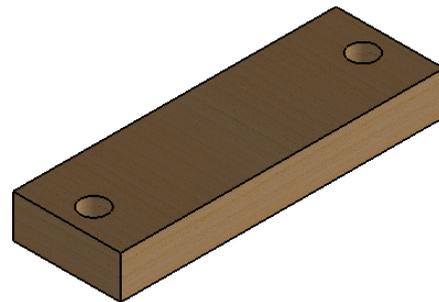
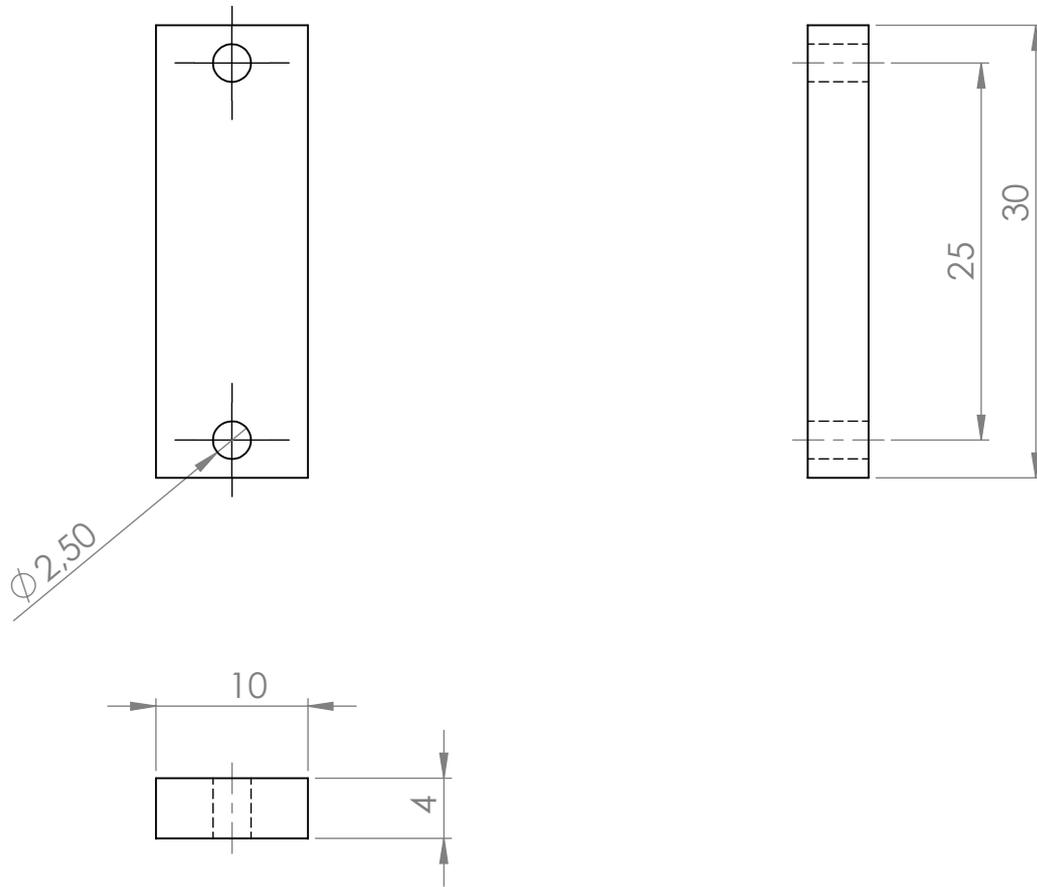
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.		FIRMA			
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO:	PORTAMUESTRAS
				ESCALA:10:1	HOJA 33



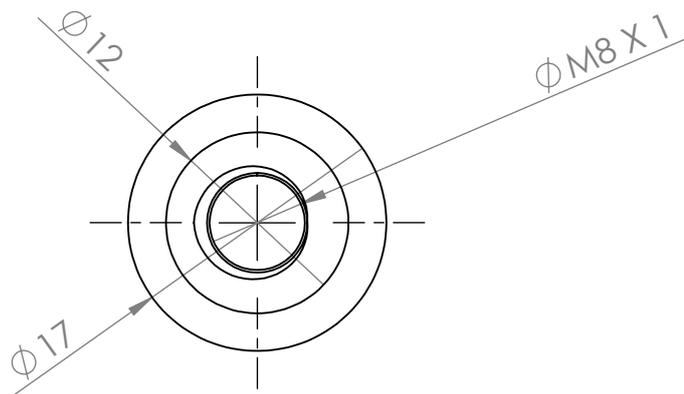
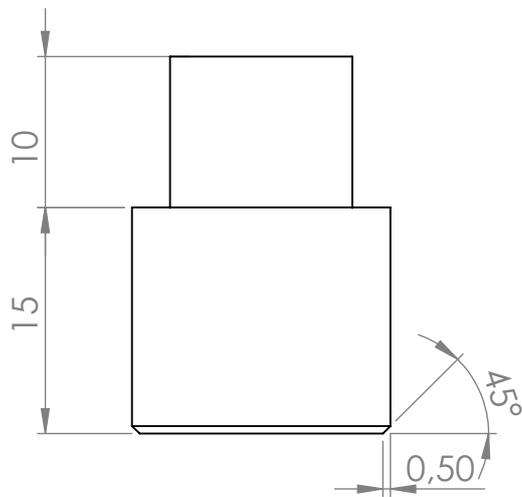
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.			FIRMA	
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
 GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016				N.º DE DIBUJO: SOPORTE VOLADIZO FIJO
				ESCALA:2:1
				HOJA 34
				A4



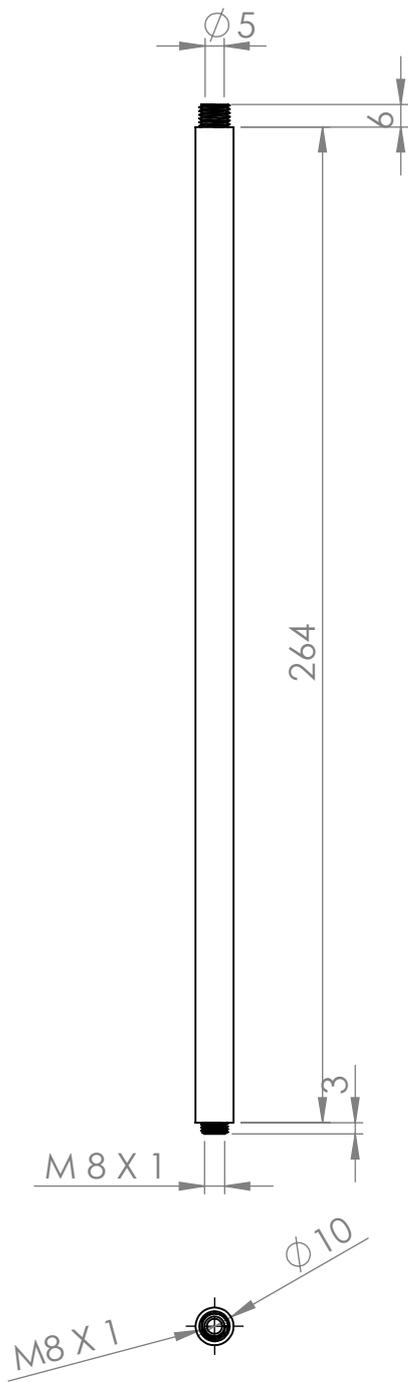
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.			FIRMA:	
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
 GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016				N.º DE DIBUJO: SOPORTE VOLADIZO MÓVIL 1
				ESCALA: 2:1
				HOJA 35
				A4



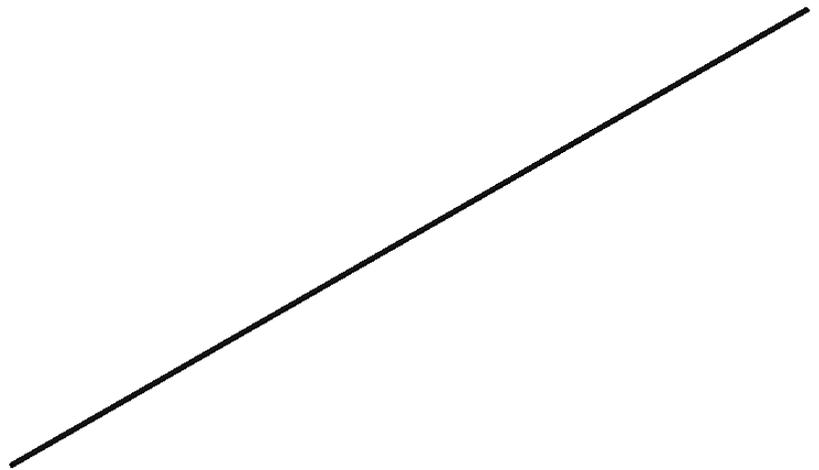
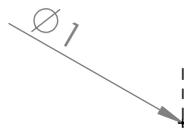
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.		FIRMA			
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO: SOPORTE VOLADIZO MÓVIL 2	A4
				ESCALA:2:1	HOJA 36



	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.		FIRMA		
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
 GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016				N.º DE DIBUJO: TAPA TUBO MUESTRA
				ESCALA: 2:1
				HOJA 37
				A4



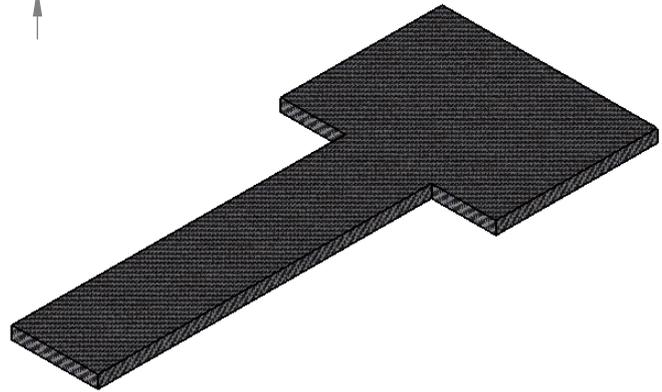
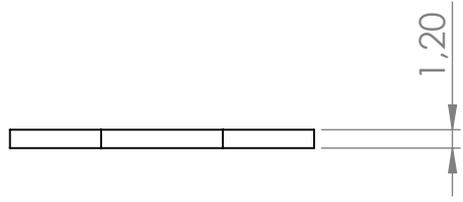
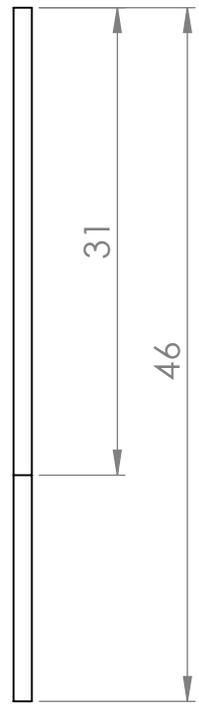
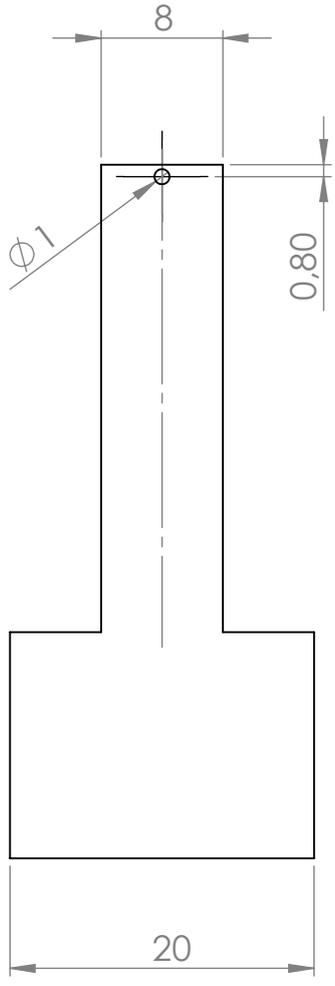
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.			FIRMA:		
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
			GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO: TUBO ROSCADO
			ESCALA: 1:2		HOJA 38
					A4



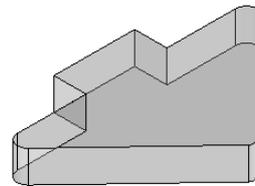
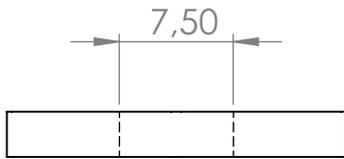
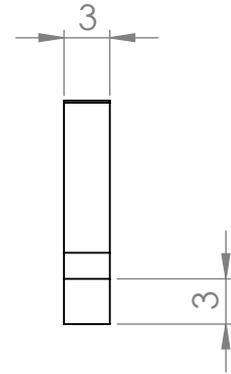
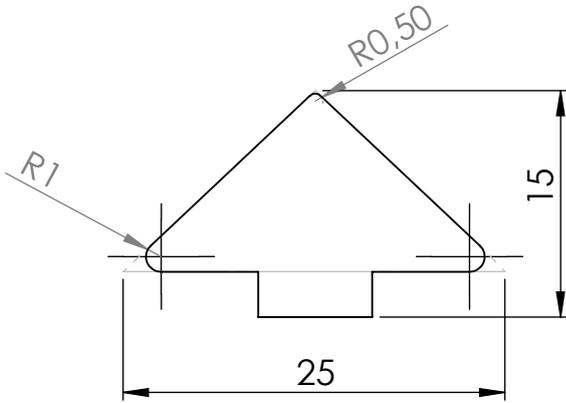
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.		FIRMA			
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO:	A4
				ESCALA: 1:2	HOJA 39

**MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE
ALTERNO DE CAMPO (AGM)**

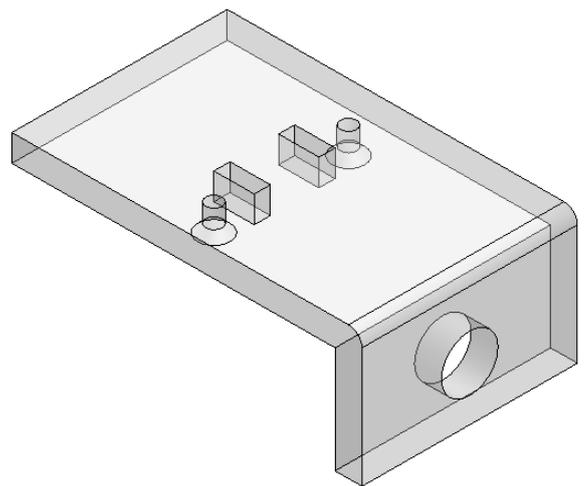
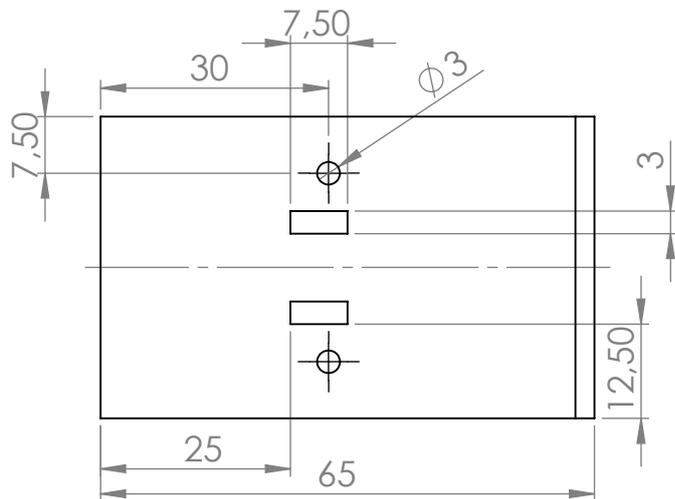
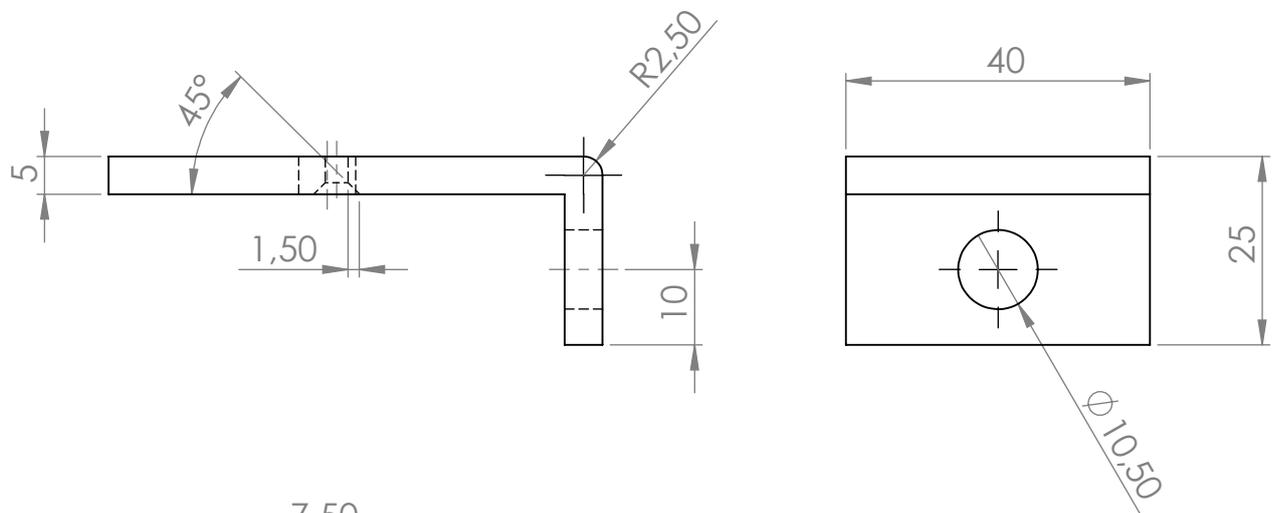
VARILLA DE GRAFITO



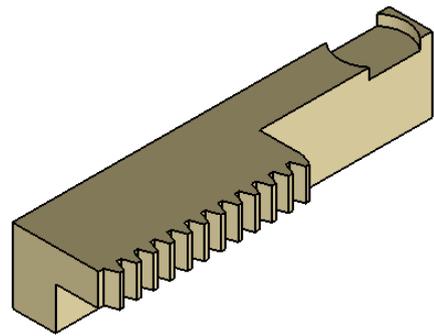
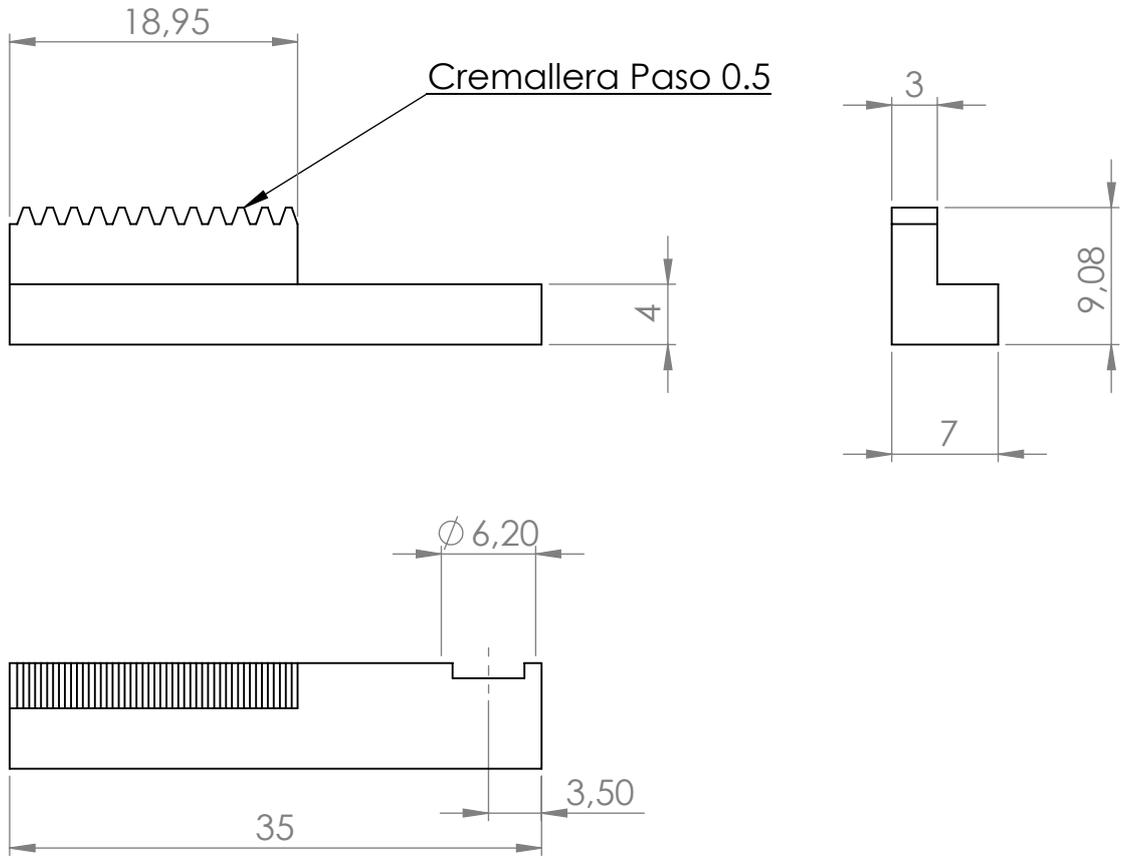
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.			FIRMA:	
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
 GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016				N.º DE DIBUJO: VOLADIZO
				ESCALA: 2:1
				HOJA 40



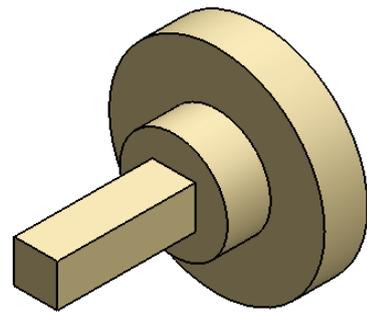
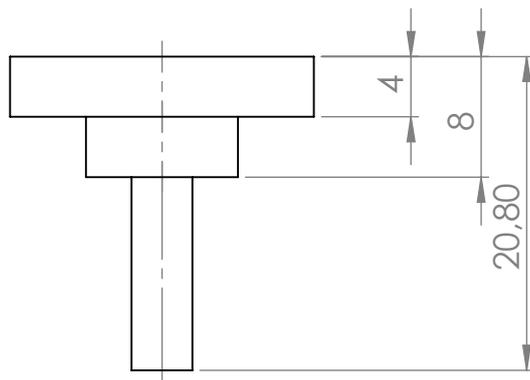
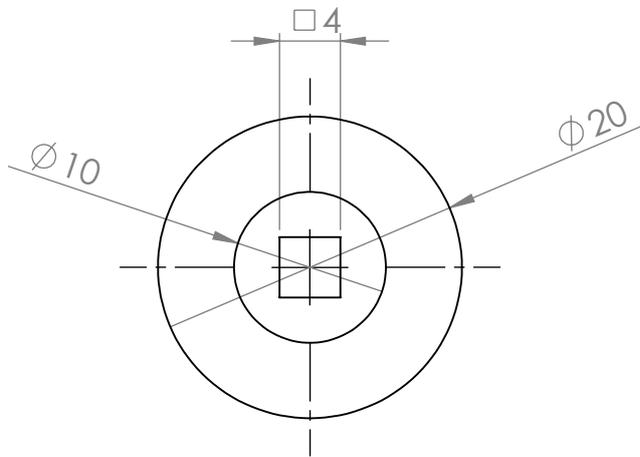
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.			FIRMA		
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO:	ESCUADRA
				ESCALA:2:1	HOJA 41



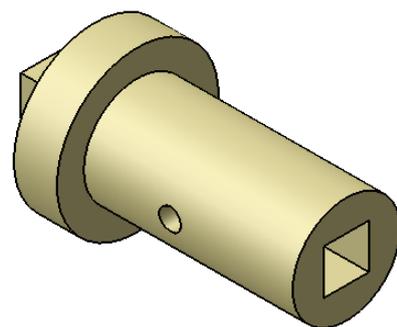
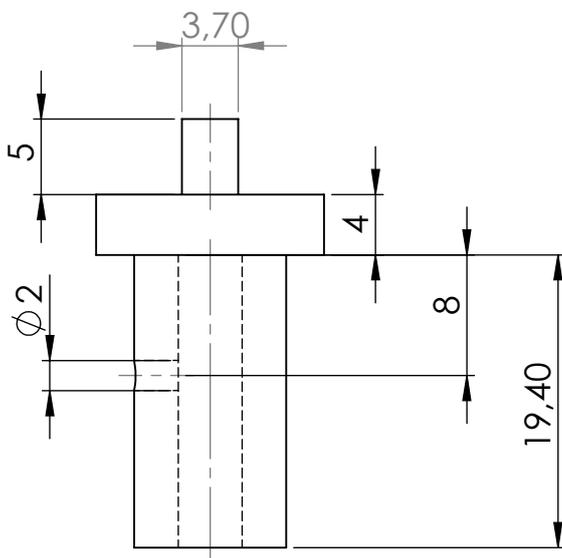
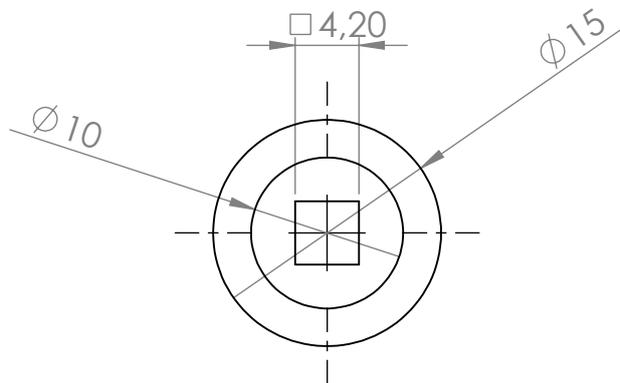
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.		FIRMA		
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
 GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016				N.º DE DIBUJO: SOPORTE LÁSER
				ESCALA: 1:1 HOJA 42
				A4



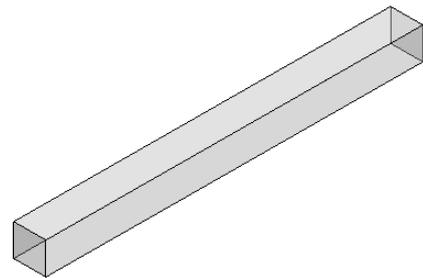
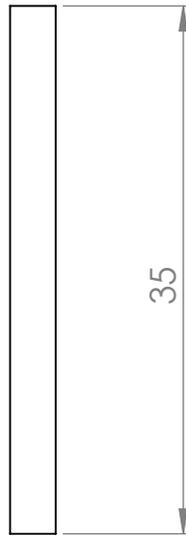
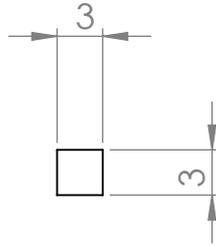
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.			FIRMA:	
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO: CREMALLERA
		ESCALA:2:1		A4 HOJA 43



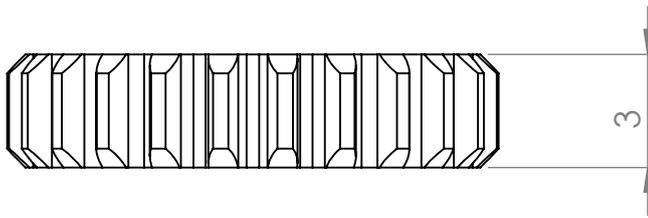
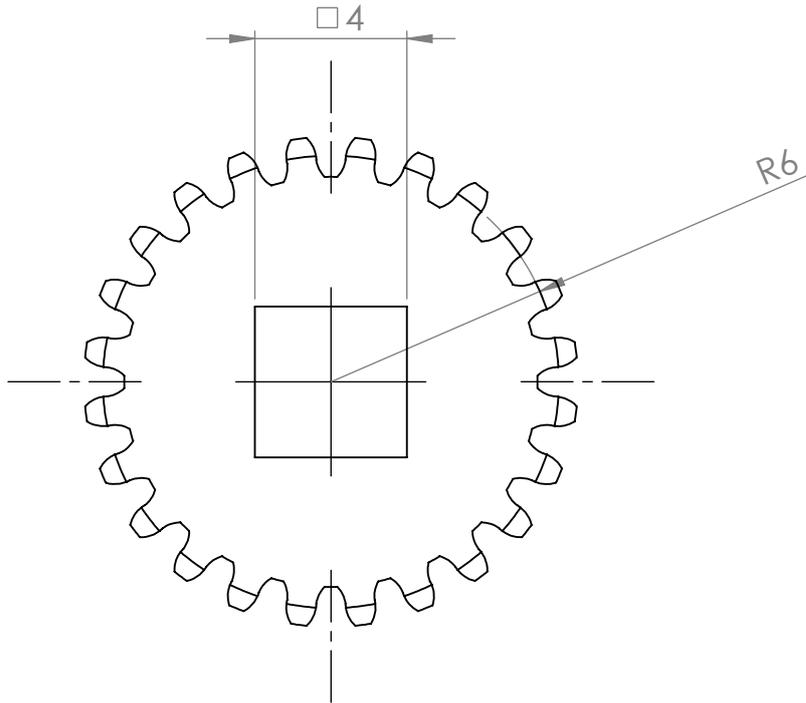
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO: MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	
VERIF.			FIRMA	
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO: ENSAMBLADOR 1PA2200
			ESCALA:2:1	A4 HOJA 44



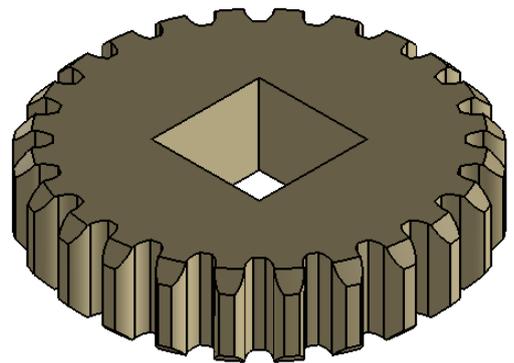
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.		FIRMA			
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO:	ENSAMBLADOR 2
				ESCALA:2:1	HOJA 45



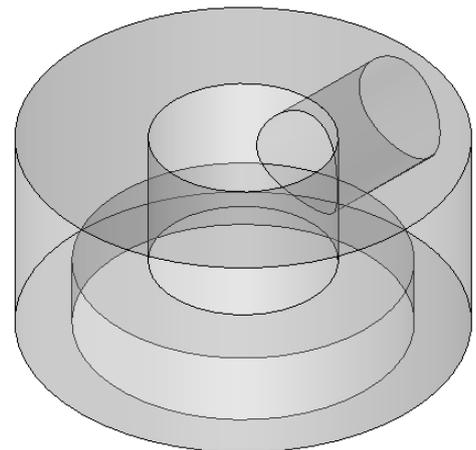
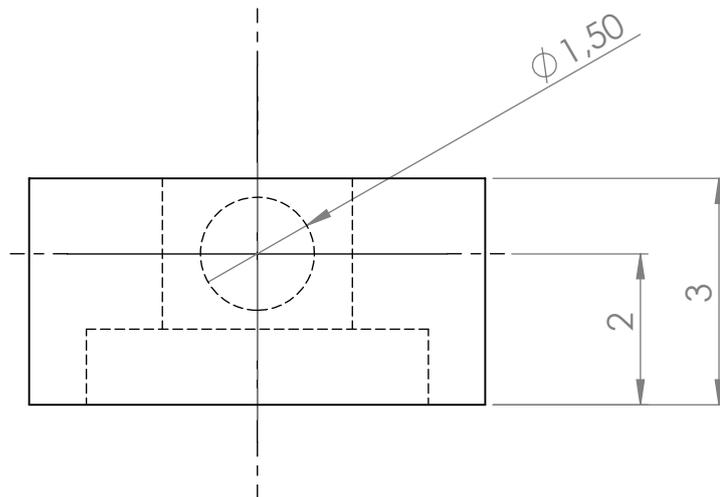
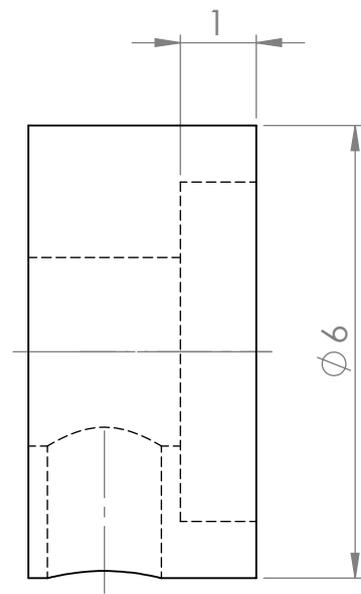
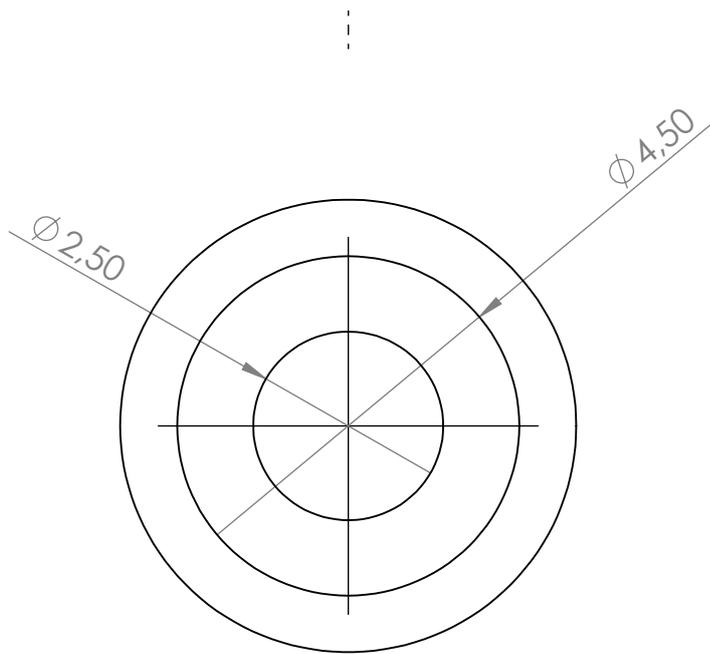
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.			FIRMA:		
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio				
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO:	GUÍA
				ESCALA:2:1	HOJA 46



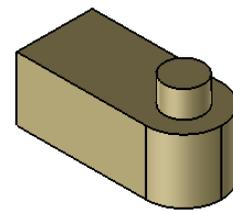
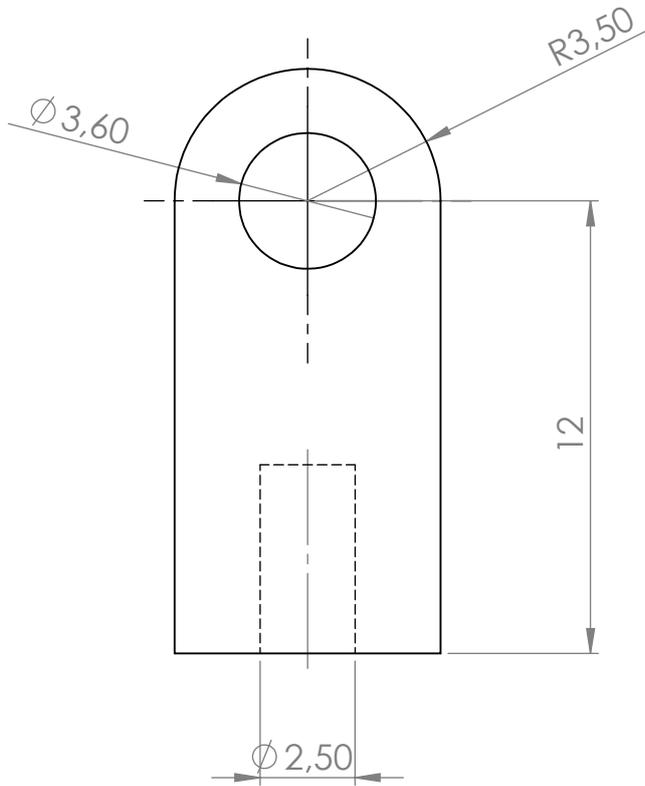
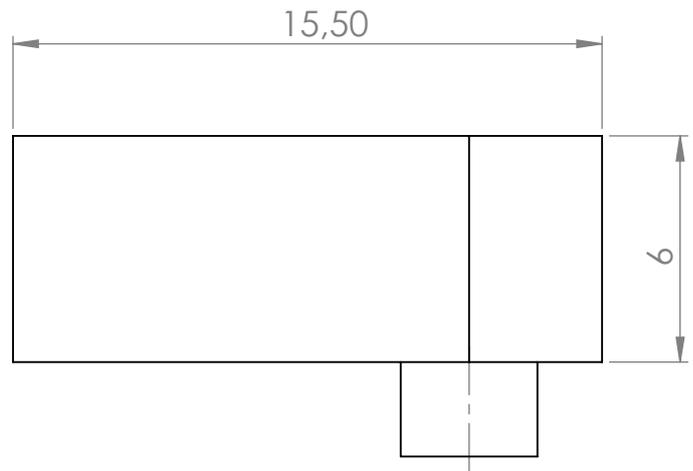
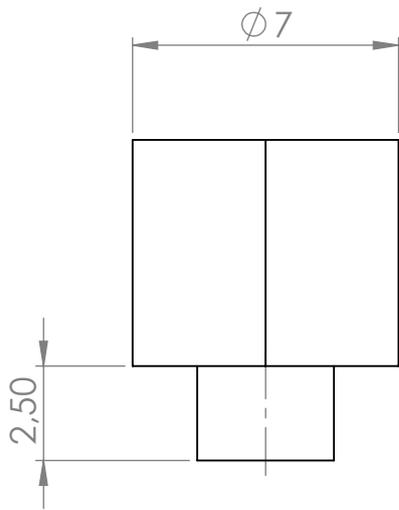
Módulo	0.5 mm
Numero de Dientes	24
Diámetro Primitivo	12mm



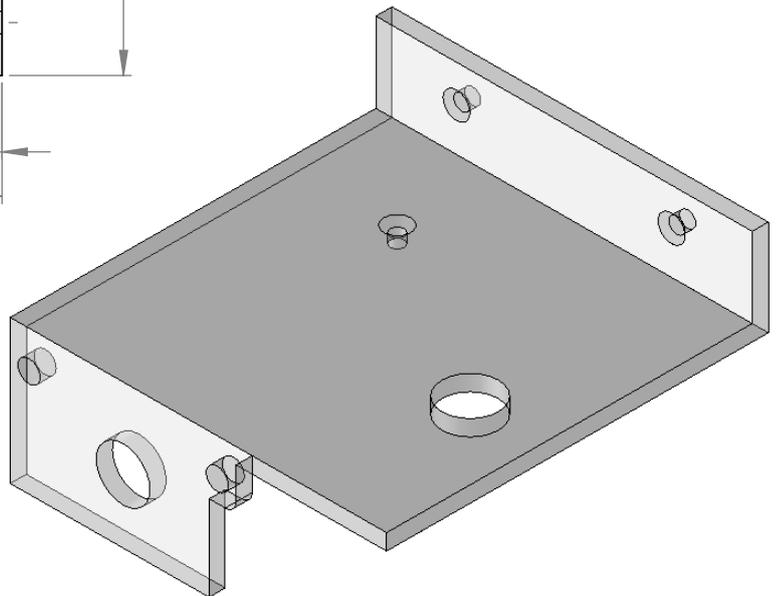
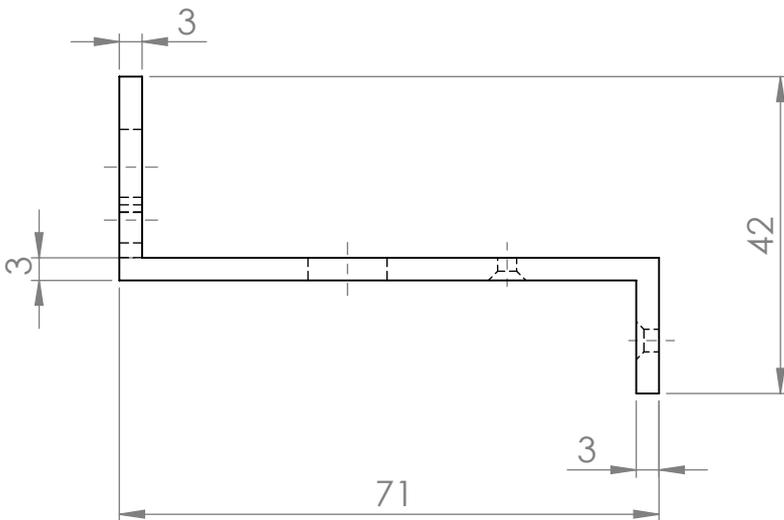
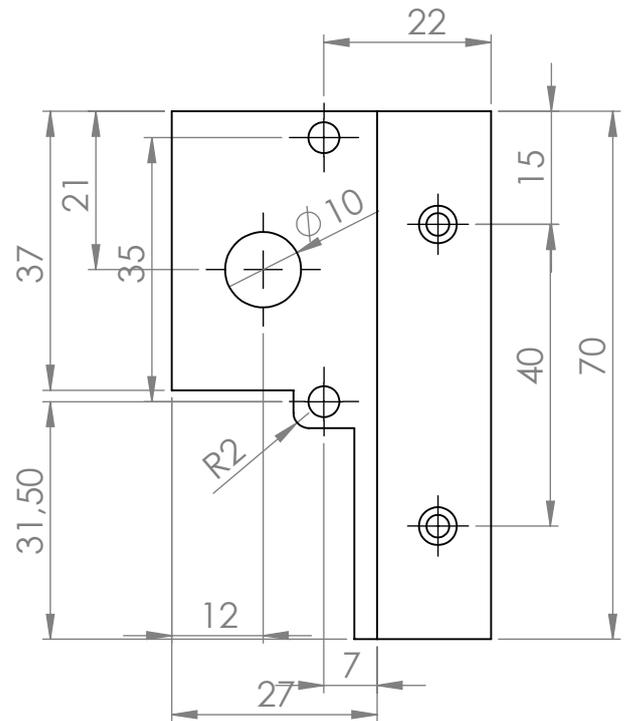
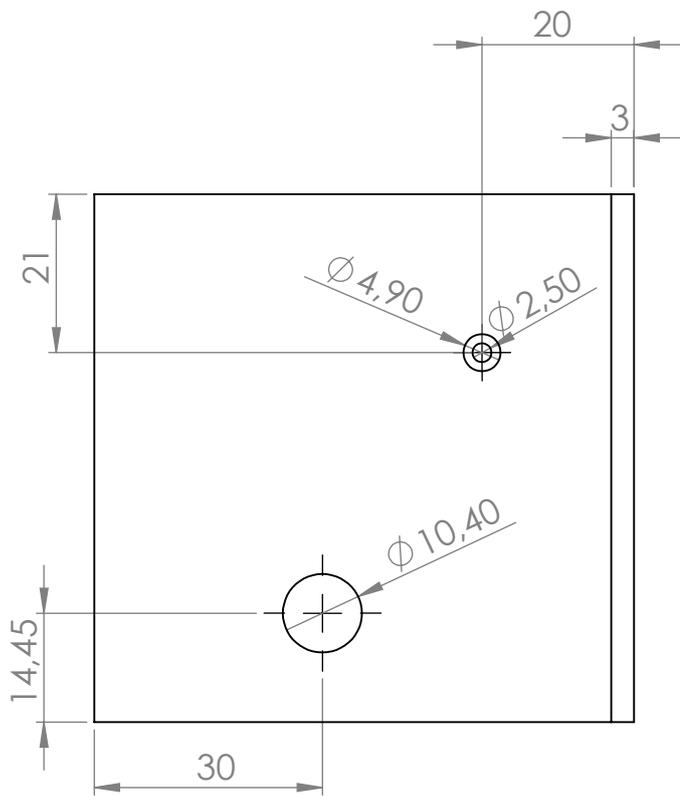
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.			FIRMA:	
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO: RUEDA DENTADA
			ESCALA:5:1	HOJA 47



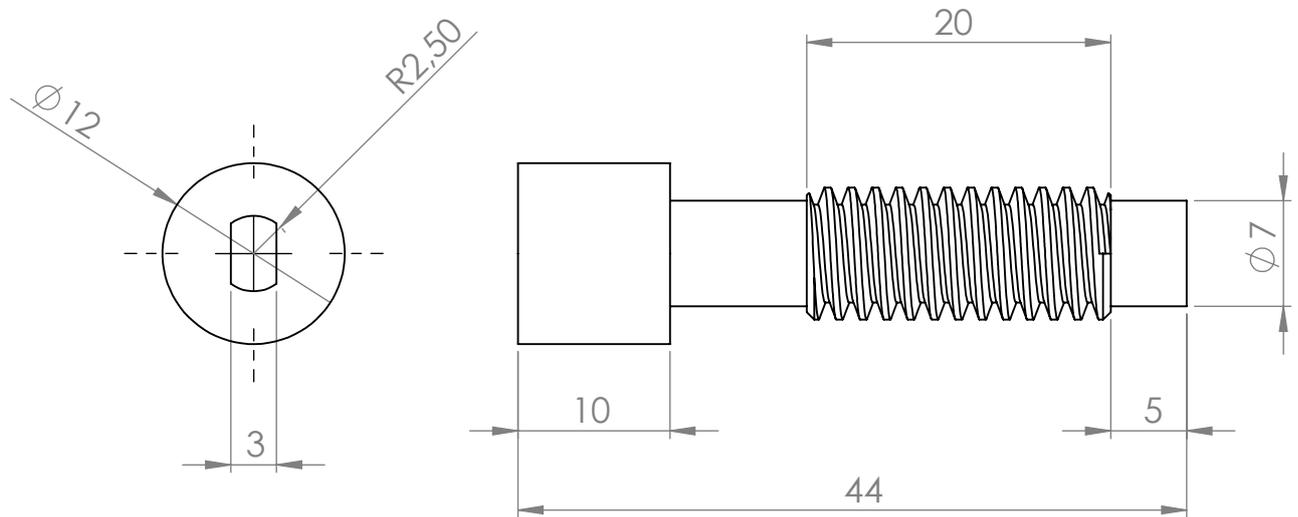
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.			FIRMA:	
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO: SOPORTE DETECTOR
			ESCALA: 10:1	HOJA 48



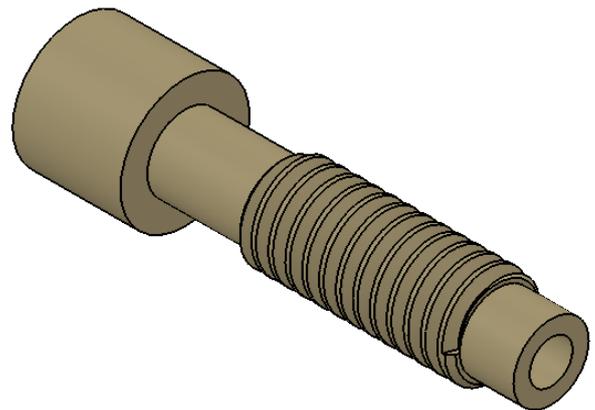
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.		FIRMA		
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO: SOPORTE TORNILLO SINFIN
		ESCALA:5:1		HOJA 49



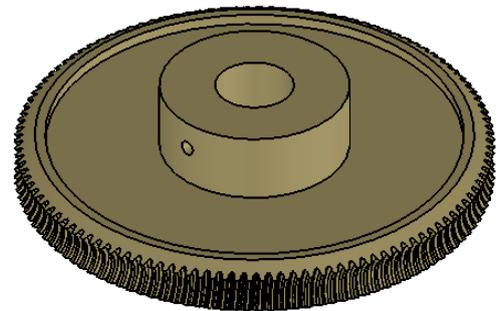
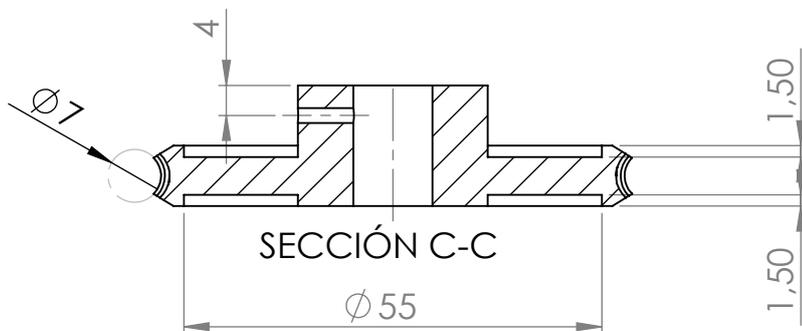
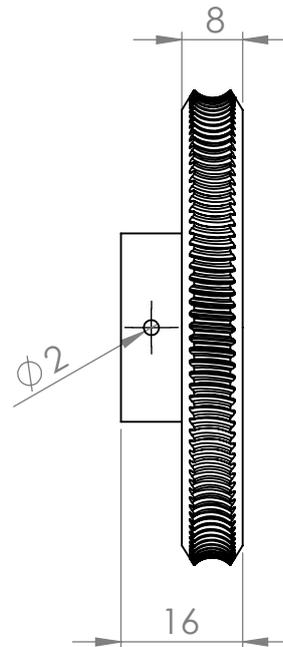
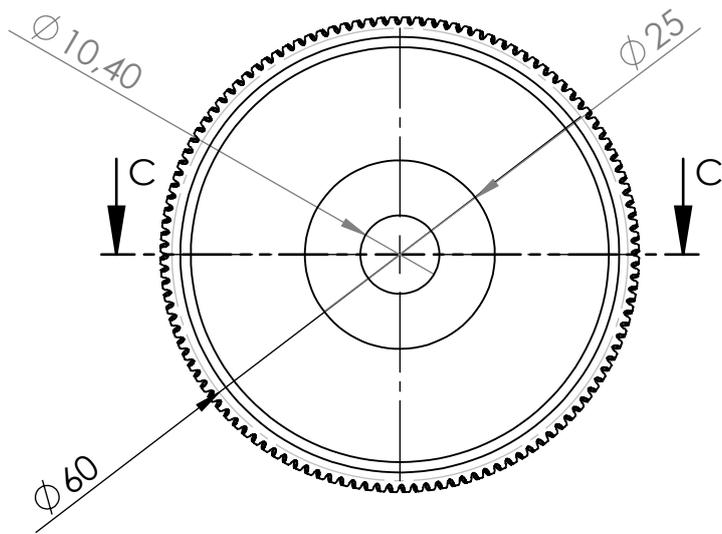
	NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.		FIRMA		
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO: SOPORTE MECANISMO DETECTOR
			ESCALA: 1:1	HOJA 50
				A4



Módulo Normal	0,5mm
Diámetro Primitivo	7mm
Distancia entre ejes	33,5mm
Ángulo de la hélice	6°
Sentido de la hélice	A derechas
Nº de hilos	1
Nº de dientes (conjugado)	120

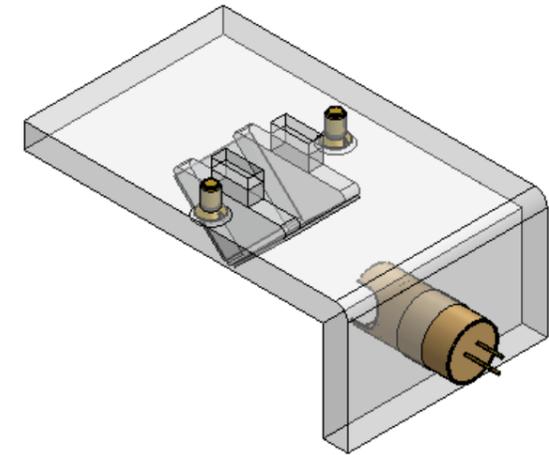
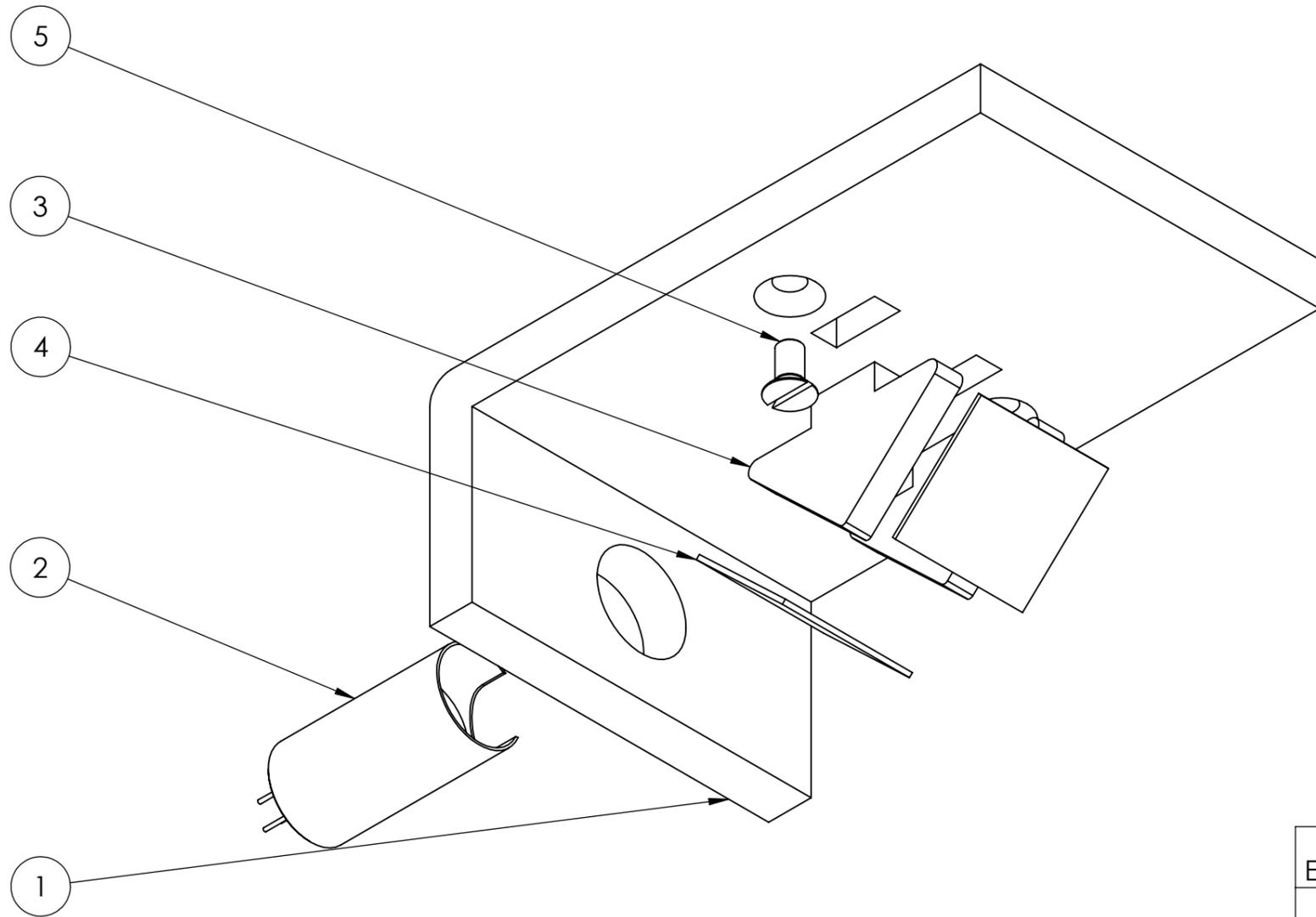


NOMBRE:		FECHA:		MATERIAL:		TÍTULO:	
DIBUJ.	Julio Sánchez Gracia			PESO:		MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)	
VERIF.				FIRMA:			
FABR.	Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio						
		GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016				N.º DE DIBUJO:	
						TORNILLO SINFIN	
				ESCALA:2:1		HOJA 51	



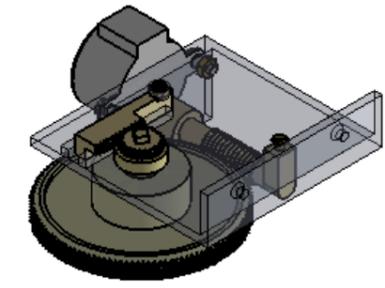
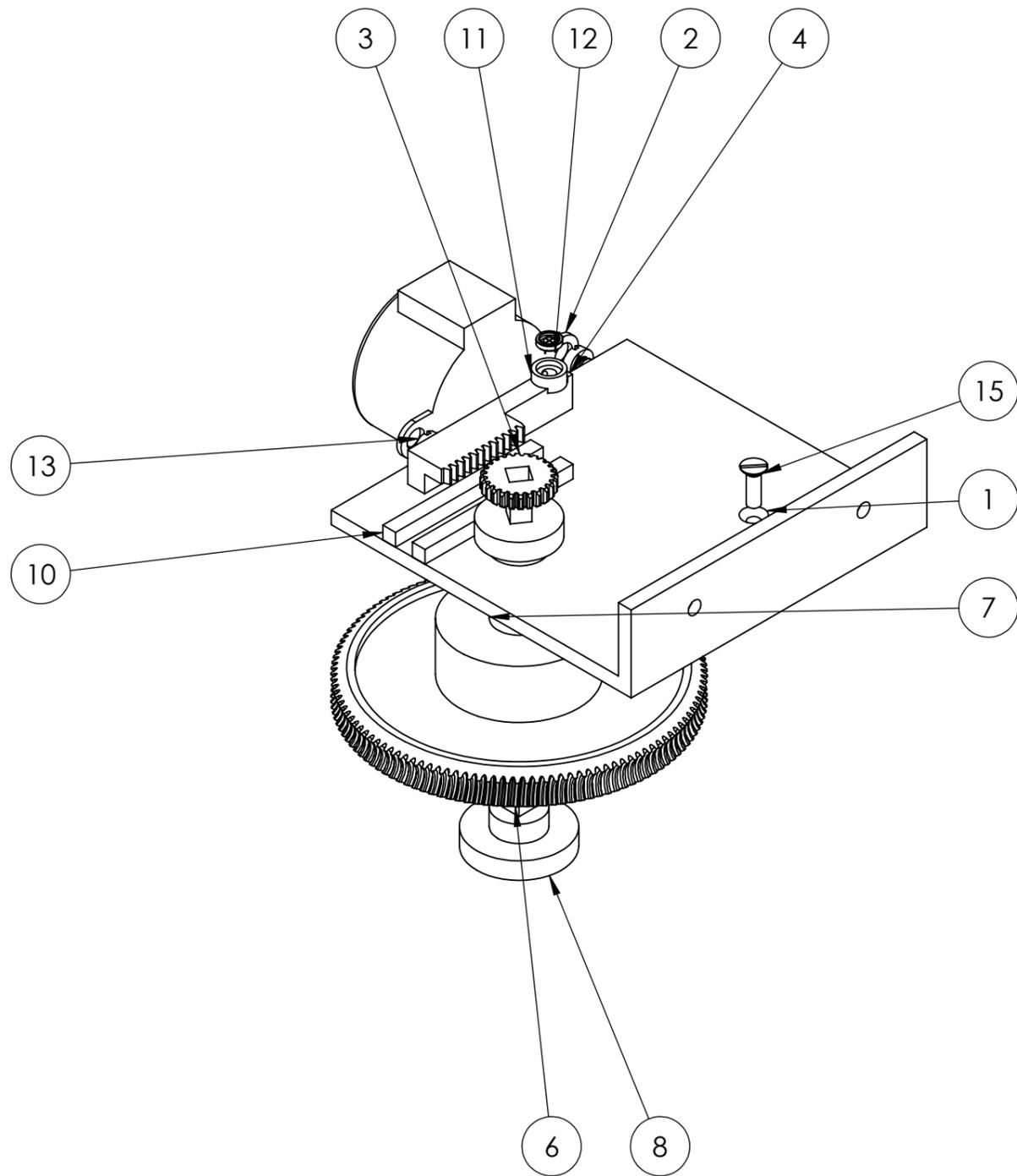
Módulo Normal	0.5 mm
Numero de Dientes	120
Diámetro Primitivo	60mm
Distancia entre ejes	33.5mm
Ángulo de la hélice	6°
Sentido de la hélice	A derechas
Nº de hilos (conjugado)	1

NOMBRE:	FECHA:	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ.: Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.:		FIRMA:	
FABR.: Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			
	GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		N.º DE DIBUJO:
			CORONA
		ESCALA: 1:1	HOJA 52
			A4



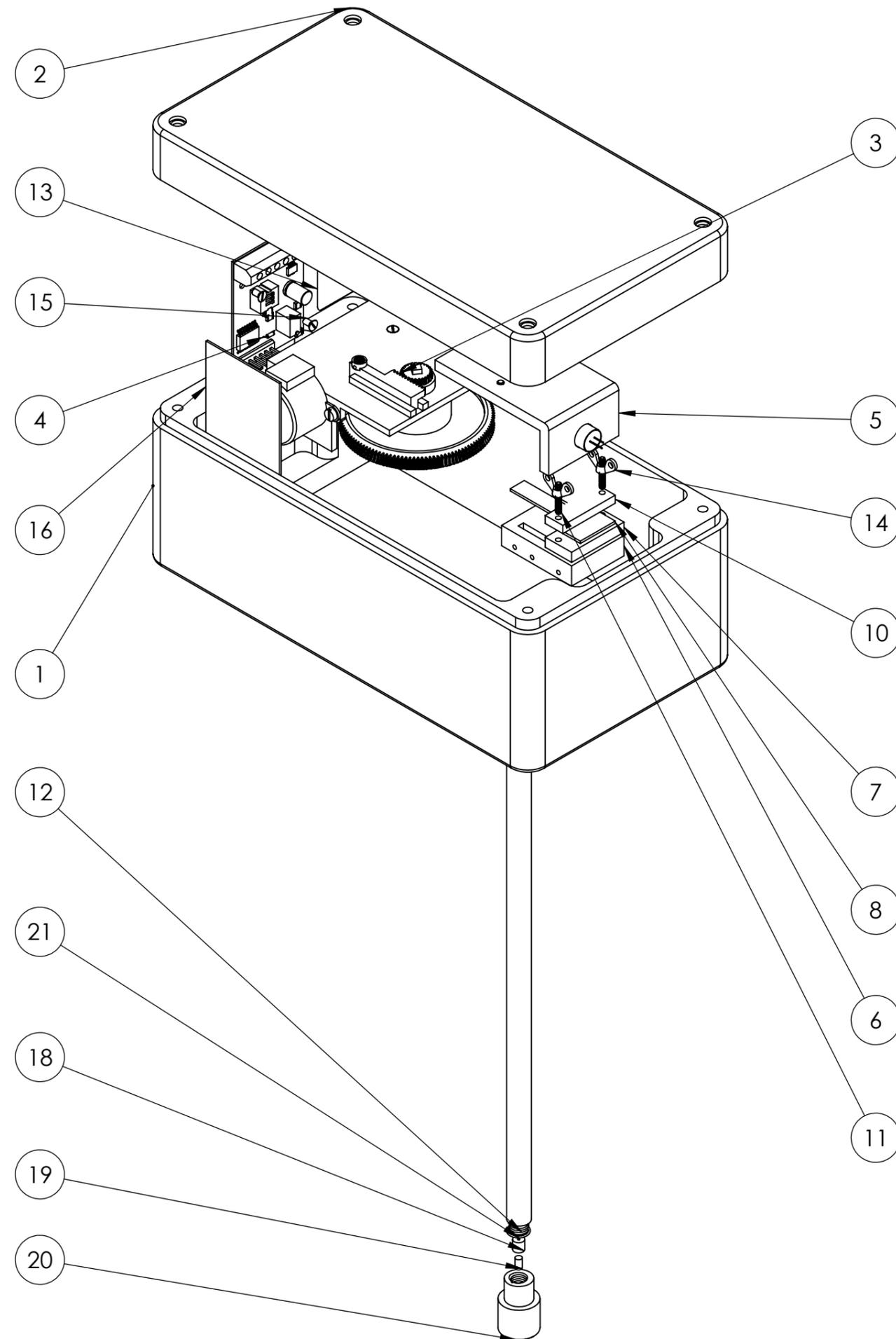
N.º DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	Soporte Láser	PMMA	1
2	Diodo láser	Elemento comercial	1
3	Escuadra	PMMA	2
4	Espejo 1	Vidrio y aluminio	2
5	Tornillo avellanado M2.5X5	Latón	2

NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ. Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.		FIRMA	
FABR. Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			N.º DE DIBUJO
upna Universidad Politécnica de Navarra Sistema de Gestión de Calidad	GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		CONJUNTO LÁSER
			A3
		ESCALA:2:1	HOJA 53



N.º DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	Soporte	PMMA	1
2	conjunto motor paso a paso	Elemento comercial	1
3	Piñón	PA2200	1
4	Cremallera	PA2200	1
5	Tornillo Sinfín	PA2200	1
6	Corona	PA2200	1
7	Ensamblador 2	PA2200	1
8	Ensamblador 1	PA2200	1
9	Soporte tornillo	PA2200	1
10	Guía	PMMA	2
11	Soporte detector	PMMA	1
12	Detector	Elemento comercial	1
13	Tornillo cabeza plana M3X8	Latón	2
14	Tuerca hexagonal M3	Latón	2
15	Tornillo avellanado M2.5X8	Latón	1

NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ. Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.		FIRMA	
FABR. Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			N.º DE DIBUJO CONJUNTO MOTOR PASO A PASO A3
upna UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE NAVARRA Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001:2015	GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016	ESCALA:1:1	HOJA 54



N.º DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	Caja (parte abajo)	Aluminio	1
2	Caja (parte arriba)	Aluminio	1
3	Conjunto motor paso a paso	-	1
4	Placa electronica motor	Elemento comercial	1
5	Conjunto láser	-	1
6	Soporte Voladizo Fijo	Haya	1
7	Soporte Voladizo Movil	Haya	1
8	Voladizo 3 capas	Fibra de carbono en matriz epoxi	1
9	Varilla Grafito	Grafito	1
10	Soporte Voladizo Movil 2	Haya	1
11	Tornillo plastico	PU	2
12	Tubo caja vacio	Aluminio	1
13	Espejo 2	Vidrio y aluminio	1
14	Tuerca DIN 315 A2 M2.5	Latón	2
15	Tornillo avellanado M2.5X5	Latón	2
16	Placa electronica detector	Elemento comercial	1
17	Tornillo avellanado M2.5X8	Latón	2
18	Soporte muestra	Teflón	1
19	Muestra	-	1
20	Tapa tubo muestra	Aluminio	1
21	Junta tórica DIN 3770 9x0.75	Caucho	2

NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	TÍTULO:
DIBUJ. Julio Sánchez Gracia		PESO:	MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO (AGM)
VERIF.		FIRMA	
FABR. Julio Sánchez Gracia Ángel Jaraba Rubio			N.º DE DIBUJO CONJUNTO CAJA DE VACÍO
upna UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE NAVARRA Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001	GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO MECÁNICO CURSO 2015/2016		A3
		ESCALA: 1:2	HOJA 55

9.2 Anexo 2: Cálculos

9.2.1 Cálculos del mecanismo tornillo sinfín-corona (Posicionador rotativo)

Estos cálculos se llevaron a cabo siguiendo el "Libro de Taller" de A. L. Casillas:

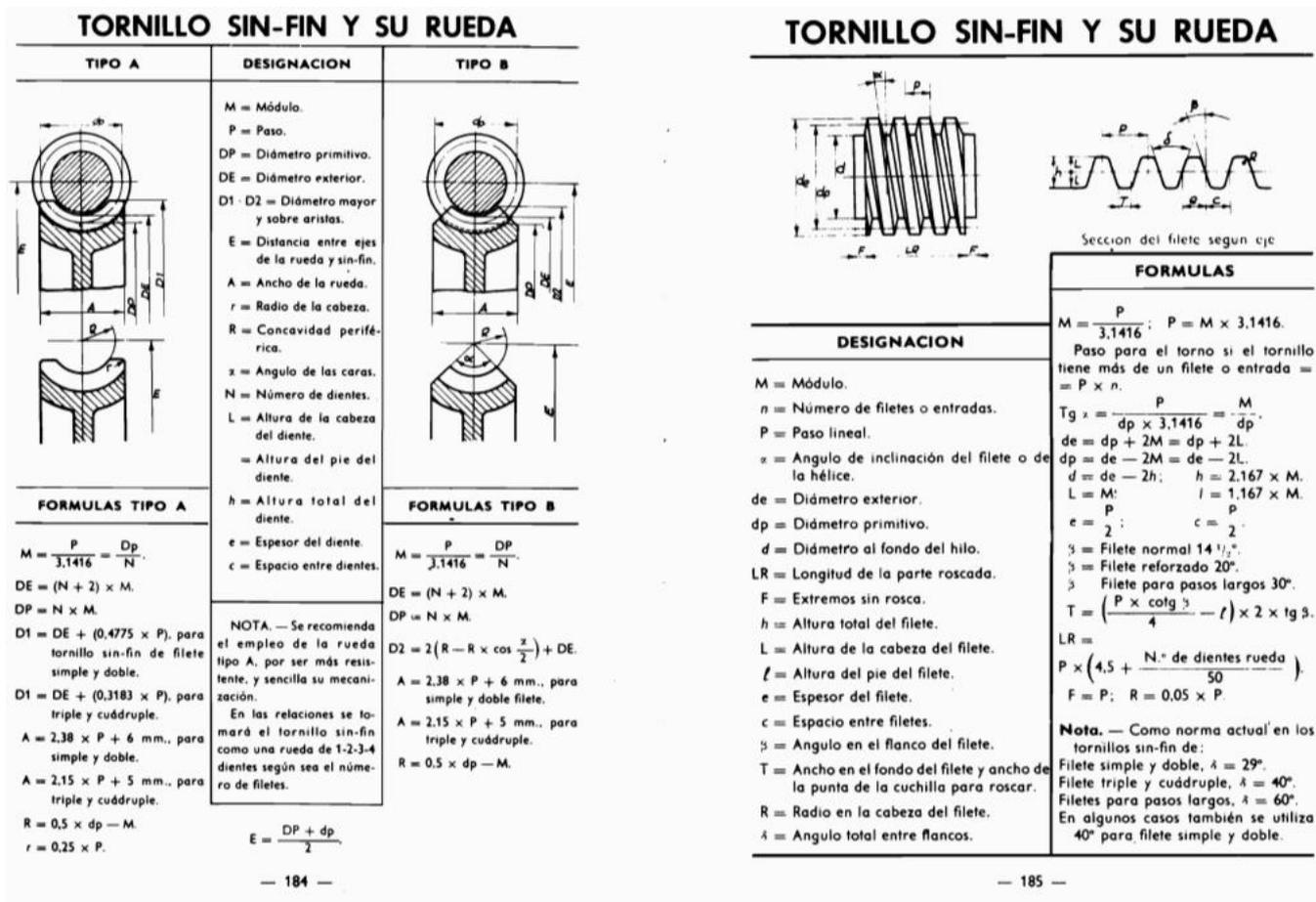


Figura 65. Extracto del "Libro de Taller" de A. L. Casillas [14]

CORONA TIPO B

$$m = 0,5 \text{ mm}; Z = 120 \text{ dientes}$$

$$DP = 0,5 \cdot 120 = 60 \text{ mm}$$

$$P = \pi \cdot 0,5 = 1,57 \text{ mm}$$

$$DE = (120 + 2) \cdot 0,5 = 61 \text{ mm}$$

$$R = 0,5 \cdot 60 - 0,5 = 29,5 \text{ mm}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$D2 = 2 \cdot \left[29,5 - 29,5 \cdot \cos \left(\frac{62}{2} \right) \right] + 61 = 65,21 \text{ mm}$$

$$A = 2,38 \cdot 1,57 + 6 = 9,7366 \text{ mm}$$

$$r = 0,25 \cdot 1,57 = 0,3925 \text{ mm}$$

TORNILLO SINFIN

$$m = 0,5 \text{ mm}; n = 1; dp = 7 \text{ mm}; \beta = 14,5^\circ$$

$$P = \pi \cdot 0,5 = 1,57 \text{ mm}$$

$$tg \alpha = \frac{m}{dp} \Rightarrow \alpha = \frac{\arctg 0,5}{7} = 4,08^\circ$$

$$h = 2,165 \cdot m = 1,0825 \text{ mm}$$

$$l = 1,165 \cdot m = 0,5825 \text{ mm}$$

$$de = dp + 2 \cdot m = 8 \text{ mm}$$

$$d = dp - 2 \cdot h = 4,835 \text{ mm}$$

$$e = \frac{P}{2} = 0,785 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia entre centros: } E = \frac{DP + dp}{2} = 33,5 \text{ mm}$$

9.2.2 Cálculo de la precisión del posicionador rotativo

La ecuación utilizada para realizar el cálculo del arco recorrido en un giro dado a una distancia dada es:

$$a = \theta \times L$$

Siendo a el arco recorrido, θ el ángulo y L la distancia del punto al centro de rotación. Por lo tanto para calcular la precisión del posicionador rotativo, en primer lugar tenemos que calcular el giro mínimo del posicionador (θ):

$$\text{Relación de transmisión} = i = \frac{1}{120};$$

Número de giros máximo del accionador del posicionador=50;

$$\theta = 360^\circ \cdot \frac{1}{120} \cdot \frac{1}{60} = 0.05^\circ \cdot \frac{2 \cdot \pi}{360^\circ} = 0.873 \text{ mrad}$$

Por lo tanto si $L = 0.3\text{m}$:

$$a = 0.873 \cdot 10^{-3} \times 0.3 = 2.62 \cdot 10^{-4} \text{m} = 0.262 \text{mm} = \mathbf{262 \mu\text{m}}$$

9.2.3 Cálculo de las dimensiones del voladizo

La ecuación utilizada en el cálculo de las dimensiones del voladizo es la siguiente:

$$f_b = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{a^3 b E}{L^3 (m + 0.23 m_b)}}$$

Como ya se ha indicado anteriormente, la frecuencia de resonancia requerida es de 200Hz como mínimo para que los tiempos de medición resulten factibles. La masa total será de 10g, y la longitud del voladizo de 30mm, para que su manipulación no sea demasiado complicada. Como módulo de elasticidad se tomará el valor de 50GPa. Por lo tanto la única incógnita que queda es la anchura (b) del voladizo, quedando la ecuación de esta forma:

$$b = \frac{(f_b \cdot 4\pi)^2 \cdot L^3 \cdot m}{a^3 \cdot E}$$

Por lo tanto se realizaron los cálculos para las tres planchas de los distintos espesores.

$$b = 0.4 \text{mm};$$

$$b = \frac{(200 \cdot 4\pi)^2 \cdot 0.03^3 \cdot 0.01}{0.0004^3 \cdot 50 \cdot 10^9};$$

$$\mathbf{b = 532.9 \text{mm}}$$

$$b = 0.8mm;$$

$$b = \frac{(200 \cdot 4\pi)^2 \cdot 0.03^3 \cdot 0.01}{0.0008^3 \cdot 50 \cdot 10^9};$$

$$\mathbf{b = 66,62mm}$$

$$b = 1.2mm;$$

$$b = \frac{(200 \cdot 4\pi)^2 \cdot 0.03^3 \cdot 0.01}{0.0012^3 \cdot 50 \cdot 10^9};$$

$$\mathbf{b = 19.74mm}$$

9.2.4 Cálculos del mecanismo posicionador del detecto segmentado (Dispositivo optomecánico)

El mecanismo se compone de dos partes; el mecanismo sinfín-corona, ya calculado, con una relación de transmisión $i = \frac{1}{120}$; y el mecanismo piñón-cremallera, que se calcula a continuación:

En un engranaje piñón cremallera, la distancia lineal que recorre la cremallera en una vuelta del piñón es igual a su perímetro primitivo. Por lo tanto:

$$l = 2 \cdot \pi \cdot \frac{d_p}{2} \cdot \theta$$

Siendo l la longitud recorrida por la cremallera, d_p el diámetro primitivo del piñón y θ el giro realizado por el piñón.

Por lo tanto, para calcular la precisión del mecanismo, se utilizará la expresión anterior para determinar el desplazamiento mínimo de la cremallera, debido al giro mínimo realizado.

El accionamiento viene de un motor paso a paso, capaz de realizar giros de $\varphi = 6^\circ$. Este acciona al mecanismo sinfín-corona, de relación de transmisión $i = \frac{1}{120}$, y por último se pasa por el mecanismo piñón-cremallera, en el cual el piñón ($d_p = 12mm$) gira solidario a la corona.

Por lo tanto, siendo el giro mínimo de la corona, y también el del piñón:

$$\theta = \frac{6^\circ}{120} = 0.05^\circ \cdot \frac{2 \cdot \pi}{360^\circ} = 0.872mrad$$

La longitud mínima de desplazamiento de la cremallera será:

$$l = 2 \cdot \pi \cdot \frac{6 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 0.872 \cdot 10^{-3} = 1.645 \cdot 10^{-5}m = \mathbf{16.45\mu m}$$

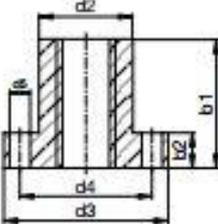
9.3 Anexo 3: Catálogos

drylin®
lead screw
drives

drylin® Lead Screw Drives | Product Range

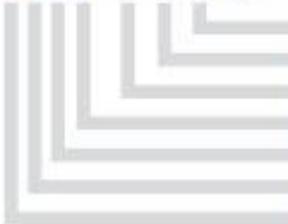
Trapezoidal lead screw nuts with flange, made from iglidur® W300, right-hand thread





Order key

WFRM-2525TR10x2



Thread
b1
d2
Metric
Hand of rotation
Type F = with flange
Material iglidur® 300

Dimensions [mm]

Part number	Effective supporting surface [mm²]	d2	d3	d4	d5	b1	b2	Thread d1 x P	max. stat. F axial [N]
		h9							
WFRM-2525TR10x2	352	25	42	34	5	25	10	TR10x2	1,760
WFRM-2525TR10x3	334	25	42	34	5	25	10	TR10x3	1,670
WFRM-2835TR12x3	576	28	48	38	6	35	12	TR12x3	2,880
WFRM-2835TR14x4	658	28	48	38	6	35	12	TR14x4	3,290
WFRM-2835TR16x2	822	28	48	38	6	35	12	TR16x2	4,110
WFRM-2835TR16x4	768	28	48	38	6	35	12	TR16x4	3,840
WFRM-2835TR18x4	878	28	48	38	6	35	12	TR18x4	4,390
WFRM-3244TR20x4	1,242	32	55	45	7	44	12	TR20x4	6,210
WFRM-3244TR24x5	1,484	32	55	45	7	44	12	TR24x5	7,420
WFRM-3846TR26x5	1,696	38	62	50	7	46	14	TR26x5	7,900*
WFRM-3846TR28x5	1,840	38	62	50	7	46	14	TR28x5	5,900*
WFRM-3846TR30x6	1,948	38	62	50	7	46	14	TR30x6	4,470*

* reduced axial load due to nut geometry

delivery time

from stock

prices price list online

www.igus.eu/eu/wfrm

966 Lifetime calculation, CAD files and much more support ► www.igus.eu/drylin-leadscrewdrives

Julio Sánchez Gracia

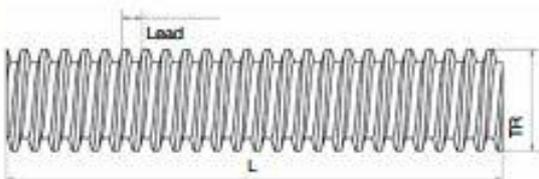
Universidad Pública de Navarra

pág. 113

drylin®
lead screw
drives

drylin® Lead Screw Drives | Product Range

Trapezoidal lead screws



PTGSG-08x1.5-01-R-1000-ES



Helix deviation 0.1 mm / 300 mm

Straightness 0.3 mm / 300 mm

Tolerance 7e

Single start trapezoidal lead screws - Dimensions [mm]

Part number	Thread	Ø	Lead	Max. Length
PTGSG-08x1.5-01-R- <input type="text"/> *	TR8x1.5	8	1.5	1,000
PTGSG-10x2-01-R- <input type="text"/> *	TR10x2	10	2	1,000
PTGSG-10x3-01-R- <input type="text"/> *	TR10x3	10	3	1,000
PTGSG-12x3-01-R- <input type="text"/> *	TR12x3	12	3	2,000
PTGSG-14x3-01-R- <input type="text"/> *	TR14x3	14	3	3,000
PTGSG-14x4-01-R- <input type="text"/> *	TR14x4	14	4	3,000
PTGSG-16x2-01-R- <input type="text"/> *	TR16x2	16	2	3,000
PTGSG-16x4-01-R- <input type="text"/> *	TR16x4	16	4	3,000
PTGSG-18x4-01-R- <input type="text"/> *	TR18x4	18	4	3,000
PTGSG-20x4-01-R- <input type="text"/> *	TR20x4	20	4	3,000
PTGSG-24x5-01-R- <input type="text"/> *	TR24x5	24	5	3,000
PTGSG-26x5-01-R- <input type="text"/> *	TR26x5	26	5	3,000
PTGSG-28x5-01-R- <input type="text"/> *	TR28x5	28	5	3,000
PTGSG-30x6-01-R- <input type="text"/> *	TR30x6	30	6	3,000
PTGSG-36x6-01-R- <input type="text"/> *	TR36x6	36	6	3,000
PTGSG-40x7-01-R- <input type="text"/> *	TR40x7	40	7	3,000
PTGSG-50x8-01-R- <input type="text"/> *	TR50x8	50	8	3,000

Two start trapezoidal lead screws - Dimensions [mm]

Part number	Thread	Ø	Lead	Max. Length
PTGSG-12x6P3-02-R- <input type="text"/> *	TR12x6P3	12	6	2,000
PTGSG-16x8P4-02-R- <input type="text"/> *	TR16x8P4	16	8	3,000
PTGSG-18x8P4-02-R- <input type="text"/> *	TR18x8P4	18	8	3,000
PTGSG-20x8P4-02-R- <input type="text"/> *	TR20x8P4	20	8	3,000

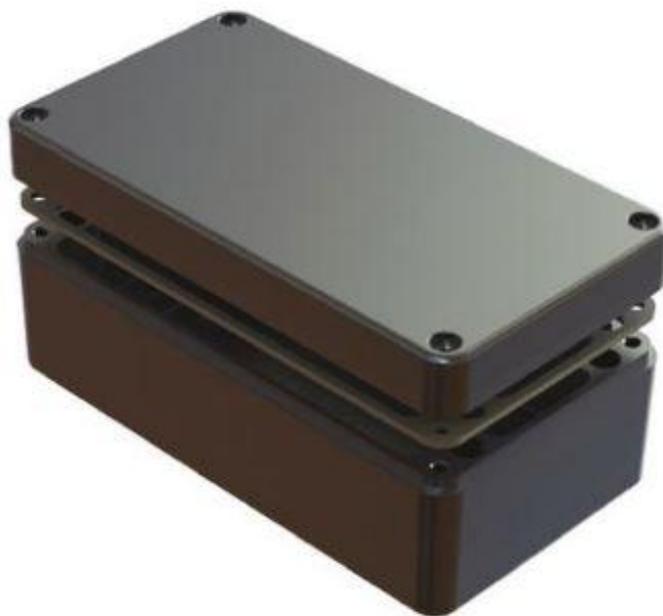
* also available with left-hand thread "-L", ** Length in mm

Please use the "-ES" suffix for stainless steel lead screws; please use the "-C45" suffix for lead screws made from C45

958 Lifetime calculation, CAD files and much more support ► www.igus.eu/drylin-leadscrewdrives

Carcasa de aluminio Deltron 486-221209-68, 486, IP68, Apantallada, 220 x 120 x 90mm

Código RS 786-5497
Fabricante Deltron
Nº ref. fabric. 486-221209-68



La imagen representada puede no ser la del producto

Datos del Producto

Cajas de aluminio fundido a presión de la serie 486 de IP68 Deltron

La cubierta está diseñada para dar la máxima superficie y la mínima exposición

La cubierta se proporciona con tornillos de sujeción largos de M6 X 25 mm de acero inoxidable (SS304)

Junta de goma esponjosa de silicona tallada en una pieza de 3 mm (01-255FR) con revestimiento adhesivo (01-255SAB), apto para temperaturas de 60 a 240 °C

Grosor mínimo de la junta y ancho del marco de la junta de 3,5 mm

Pared envolvente y grosor mínimo de la cubierta de 3 mm

Guías y tablas de PCB integradas

Se suministra con puntos de fijación a tierra integrados y tornillos de latón anti sacudida

Especificaciones

¿No es lo que buscaba? Seleccione los atributos que desee y pulse en el botón de abajo.

<input type="checkbox"/>	Material del Cuerpo	Aluminio
<input type="checkbox"/>	Dimensiones Externas	220 x 120 x 90mm
<input type="checkbox"/>	Longitud Externa	220 mm
<input type="checkbox"/>	Anchura Externa	120 mm
<input type="checkbox"/>	Altura Externa	90 mm
<input type="checkbox"/>	Índice de Protección IP	IP68
<input type="checkbox"/>	Color	Natural
<input type="checkbox"/>	Series	486
<input type="checkbox"/>	Apantallado	Sí

Motor paso a paso, 11.25 °, 5.625 °, Bobinado Unipolar, 5 Cables, Par 380gcm, 12 V

Código RS 779-3740
Fabricante Cliff Electronics
Nº ref. fabric. FMJ7301CH



Datos del Producto

Motor paso a paso - Serie FMJ7301

Motor paso a paso de 4 fases compacto ideal para combinar con un actuador unipolar

Motor paso a paso unipolar

Con cable de 85 mm y terminal

Especificaciones

¿No es lo que buscaba? Seleccione los atributos que desee y pulse en el botón de abajo.

<input type="checkbox"/> Ángulo de Inclinación	5.625 °, 11.25 °
<input type="checkbox"/> Número de Cables	5
<input type="checkbox"/> Tensión Nominal	12 V
<input type="checkbox"/> Diámetro del Eje	3mm
<input type="checkbox"/> Corriente Nominal	32 mA
<input type="checkbox"/> Colocación del Bobinado	Unipolar
<input type="checkbox"/> Longitud del Eje	6mm
<input type="checkbox"/> Profundidad	19mm

635nm, 3mW Focusable Alignment Laser Diode Module



Nº de Stock #68-705

Disponibilidad: In Stock

€38,75

1 - 10 for €58,75 each.
11 or more for €49,93.

Especificaciones

Type	Focusable
Output Power (mW)	3
Wavelength (nm)	635
Operating Current (mA)	Typical: 50 Maximum: 50
Operating Voltage (V)	Typical: 2.5 Maximum: 3.3
Operating Temperature (°C)	-5 to +50
Outer Diameter (mm)	10.5
Length (mm)	14.5
Color	Red
Output Type	Free Space
Type of Laser	Diode
	Si
RoHS	C

Información Técnica



2.8mm² Two-Element Segmented Photodiode



N° de Stock #84-611

Disponibilidad: **CONTACTO**

€35.28

1 - 4 for €35.28 each.

5 - 25 for €29.40 each.

Especificaciones

Active Area (mm ²)	2.8
Size of Active Area (mm)	0.6 x 4.6
Element Gap (mm)	0.025
Responsivity @ 970nm (A/W)	Minimum: 0.6 Typical: 0.65
Capacitance @ V _R =-10V (pF)	7
Dark Current @ V _R =-10V (nA)	Maximum: 2 Typical: 0.13
Noise Equivalent Power NEP (W / Hz ^{1/2})	9.9 x 10 ⁻¹⁵ @ -10 V, 970nm
Maximum Reverse Voltage (V)	30
Rise Time (ns)	4
Operating Temperature (°C)	-40 to 100
Storage Temperature (°C)	-55 to 125
Connector	41 / TO-5
RoHS	C

Activación paso a paso Johnson Electric 53107, 0,35 A Unipolar, 10 → 24V dc

Código RS 443-0102
Fabricante Johnson Electric
Nº ref. fabric. 53107

sala-burgess



Datos del Producto

Samotronic 101

Accionador monopolar para motores paso a paso fácil de utilizar (4 fases)
Tamaño compacto: 55 x 40 mm
Modos de paso completo y medio paso
Reloj interno integral, se puede utilizar frecuencia LS-TTL externa
Valor nominal de 350 mA por fase a 24 V
Equipado con cabezal MTA 100 de 6 vías para conexión de motor

Unipolar, accionamiento por pasos

Especificaciones

¿No es lo que buscaba? Seleccione los atributos que desee y pulse en el botón de abajo.

<input type="checkbox"/> Para Tipo de Motor	Unipolar
<input type="checkbox"/> Corriente Nominal	0,35 A
<input type="checkbox"/> Placa de alimentación	10 → 24V dc
<input type="checkbox"/> Longitud Total	55mm
<input type="checkbox"/> Anchura Total	40mm
<input type="checkbox"/> Seleccionar todo	



TL052 (ACTIVE)

Dual Enhanced JFET Precision Operational Amplifier

 [TL05x, TL05xA \(Rev. A\)](#)

Parametrics

[Compare all products in General Purpose Amplifier](#)

	TL052	TL051	TL051A
Number of Channels (#)	2	1	1
Total Supply Voltage (Min) (+5V=5, +/-5V=10)	10	10	10
Total Supply Voltage (Max) (+5V=5, +/-5V=10)	30	30	30
GBW (Typ) (MHz)	3.3	3.3	3.3
Slew Rate (Typ) (V/us)	20	20	20
Rail-to-Rail	In to V+	In to V+	In to V+
Vos (Offset Voltage @ 25C) (Max) (mV)	1.5	1.5	0.8
Iq per channel (Typ) (mA)	2.7	2.7	2.7
Vn at 1kHz (Typ) (nV/rtHz)	18	18	18
Rating	Catalog	Catalog	Catalog
Operating Temperature Range (C)	-40 to 85 0 to 70	0 to 70	0 to 70
Package Group	PDIP SO SOIC WAFERSALE	PDIP SOIC	PDIP SOIC
Approx. Price (US\$)	0.19 1ku	0.17 1ku	1.29 1ku
Package Size (mm ² =WxL)	8SOIC: 29 mm ² : 6 x 4.9 8SO: 48 mm ² : 7.8 x 6.2	8SOIC: 29 mm ² : 6 x 4.9	8SOIC: 29 mm ² : 6 x 4.9
Offset Drift (Typ) (uV/C)	6	8	8
Additional Features		Vos Adj Pin	Vos Adj Pin
IIB (Max) (pA)	200	200	200
CMRR (Typ) (dB)	93	93	93
Output Current (Typ) (mA)	42	42	42
Architecture	FET	FET	FET
	Sample & Buy	Sample & Buy	Samples Not Available

Magnetómetro de gradiente alterno de campo (AGM)



N.º Ref. Mouser: 584-AD620ARZ
 N.º Ref. del fabricante: AD620ARZ
 Fabricante: Analog Devices
 Descripción: Amplificadores de instrumentación Low Drift Low Power



[AD620ARZ Hoja de datos](#)

Especificaciones	Empaquetado alternativo	Documentos (2)	Mis Notas
Fabricante:	Analog Devices Inc.		<input checked="" type="checkbox"/>
Categoría de producto:	Amplificadores de instrumentación		<input checked="" type="checkbox"/>
RoHS:	Detalles		
Número de canales:	1 Channel		<input type="checkbox"/>
GBP: producto para ganancia de ancho de banda:	-		<input type="checkbox"/>
VS: Velocidad de sesgo:	1.2 V/us		<input type="checkbox"/>
CMRR - Ratio de rechazo en modo común :	93 dB		<input type="checkbox"/>
Ib - Corriente de polarización de entrada:	0.5 nA		<input type="checkbox"/>
Vos - Voltaje de compensación de la entrada:	30 mV		<input type="checkbox"/>
Resistencia de entrada máxima:	10 GOhms at +/- 15 V		<input type="checkbox"/>
Tensión del suministro - Máx:	18 V		<input type="checkbox"/>
Tensión del suministro - Mín:	2.3 V		<input type="checkbox"/>
Corriente de suministro operativa:	0.9 mA		<input type="checkbox"/>
Temperatura operativa máxima:	+ 85 C		<input type="checkbox"/>
Temperatura operativa mínima:	- 40 C		<input type="checkbox"/>
Estilo de montaje:	SMD/SMT		<input type="checkbox"/>
Empaquetado / Estuche:	SOIC-8		<input type="checkbox"/>
Empaquetado:	Tube		<input type="checkbox"/>
Ancho de banda de 3 dB:	1 MHz		
Tipo de amplificador:	Instrumentation Amplifier		
Marca:	Analog Devices		
Ganancia V/V:	1 V/V to 10000 V/V		
Pd (disipación de potencia):	650 mW		
Producto:	Instrumentation Amplifiers		
PSRR - Ratio de rechazo de fuente de alimentación:	140 dB		
Serie:	AD620		
Cantidad del paquete de fábrica:	98		
Vcm - Tensión de modo común:	2.3 V to 18 V		
Peso unitario:	540 mg		

6" x 12" Sorbothane Sheet



N° de Stock #56-921

€22.49

1 - 9 for €22.49 each.
10 or more for €18.57.

Disponibilidad: **EN STOCK**

Especificaciones

Dimensions (inches)	6 x 12
Thickness (inches)	1/8
RoHS	C

9.4 Anexo 4: Ensayos

En este anexo se van a explicar con detalle los ensayos que se han realizado en este proyecto, y con los cuales hemos obtenido una serie de resultado y sacado una serie de conclusiones.

9.4.1 Ensayo de tracción

Como ya se ha explicado en la memoria, se consideró preciso realizar una serie de ensayos a las placas de fibra de carbono para determinar algunas de sus propiedades mecánicas. El primer ensayo en realizar fue el de tracción, para determinar, entre otras propiedades, el Módulo de Young. Los ensayos se realizaron con la máquina de ensayos de tracción Tinius Olsen H25KS y el software Metrotest, con el que se interpretan los datos obtenidos en la máquina.

En primer lugar era necesario fabricar las probetas con las que se realizarían los ensayos. Estas pueden ser de sección circular o rectangular. En nuestro caso conviene que sea de sección rectangular porque las planchas de fibra de carbono son rectangulares y de sección constante, por lo que no podrían ser fabricadas de otra manera que no fuese rectangular. Por lo tanto las probetas serían realizadas por mecanizado en la máquina de control numérico, con las medidas normalizadas que se muestran a continuación:

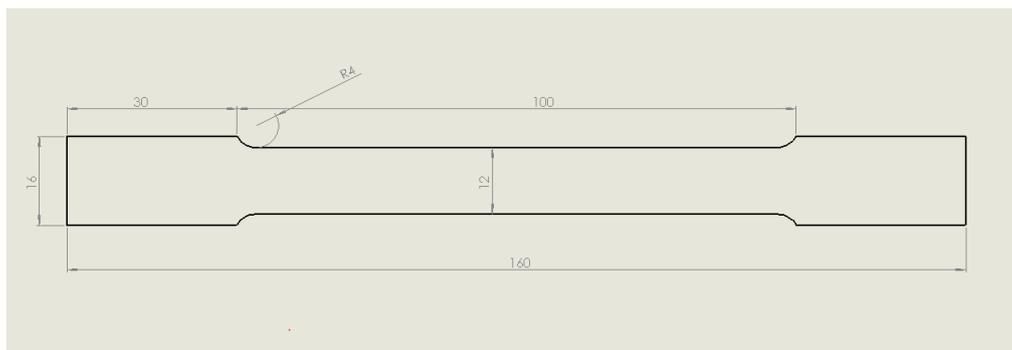


Figura 66. Probetas normalizadas para ensayos de tracción

Se fabricaron dos probetas de cada espesor, un total de seis probetas, para no realizar un solo ensayo de cada una y poder contrastar los resultados. Los espesores de las probetas son, obviamente, el mismo de las planchas de fibra de carbono, 0.4, 0.8 y 1.2, por lo tanto, siendo la anchura del cuello de las probetas de 12mm, las secciones son de 4.8, 9.6 y 14.4, respectivamente. Cabe destacar que la dirección longitudinal de la probeta, es la misma que la longitudinal de las fibras, ya que es la dirección que mejores propiedades presenta, así que la colocación de la plancha en la fresadora de control numérico es de vital importancia.

Una vez fabricadas las probetas, se pasó ya a realizar los ensayos de tracción. El procedimiento a seguir fue el que se explica a continuación:

- En primer lugar se debe colocar la probeta correctamente, es decir, el cuello de la probeta debe estar justo entre las mordazas, que están situadas por defecto a una distancia de 100mm, la misma que el cuello de la probeta.

Magnetómetro de gradiente alterno de campo (AGM)

- Seguidamente es necesario apretar las mordazas. Este paso es muy importante con este material, ya que, como se ha dicho antes, es un material anisótropo, y la dirección en la que aprietan las mordazas, es la dirección más débil de la fibra. Los esfuerzos que realizan las mordazas sobre la probeta son a cortadura, lo que podría quebrarla con un esfuerzo no demasiado elevado.
- Con la probeta ya sujeta, se debe pasar a colocar el extensómetro. Esto es un detector de la elongación que sufre el cuello de la probeta. Debido a que la distancia de los agarres del extensómetro es de 50mm, se deben colocar los dos a 25mm del centro de la probeta, uno a cada lado. Conviene realizar unas marcas en el cuello, sin dañarlo, para ser más precisos en la colocación del extensómetro.

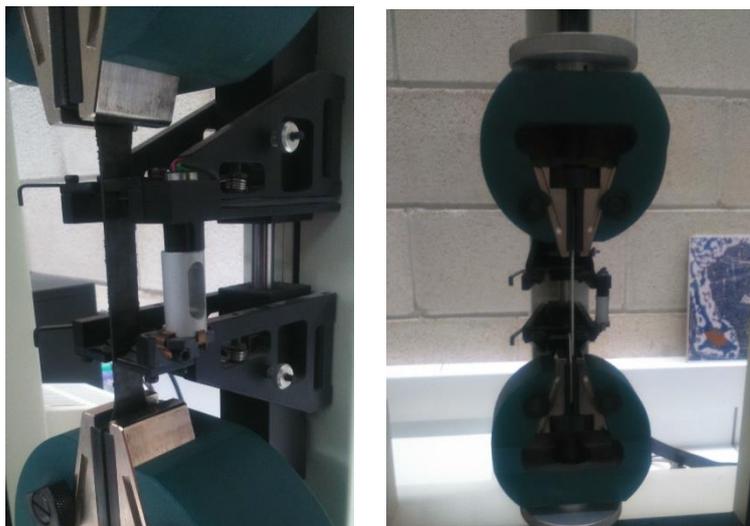


Figura 67. Colocación de la probeta en la máquina de ensayos de tracción

- Con a máquina ya a punto, pasamos a controlarla con el software MetroTest. En primer lugar introducimos los datos del ensayo a realizar y seguidamente los parámetros de la probeta a medir (tipo de probeta, sección, precarga,...). Por último ajustamos las escalas para que la gráfica sea fácil de interpretar y ajustamos todos los parámetros a 0.

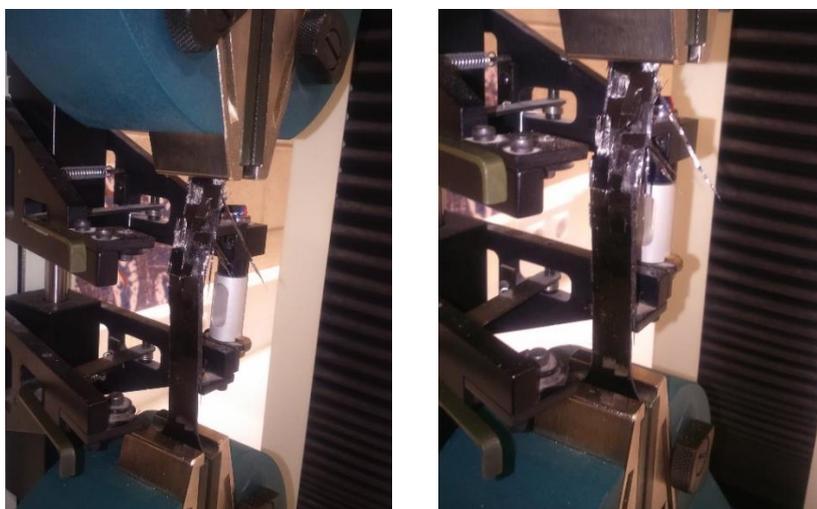


Figura 68. Probeta después de realizar el ensayo

Magnetómetro de gradiente alterno de campo (AGM)

Una vez realizados los ensayos, se recogen los datos interpretados y graficados por el software para sacar las conclusiones.

A continuación se muestran las gráficas de todos los ensayos realizados. Los tres primeros son ensayos independientes de 1, 2 y 3 capas de tejido. La última hoja corresponde a tres ensayos, uno de cada capa, en una gráfica conjunta, en la que se pueden contrastar los resultados fácilmente.

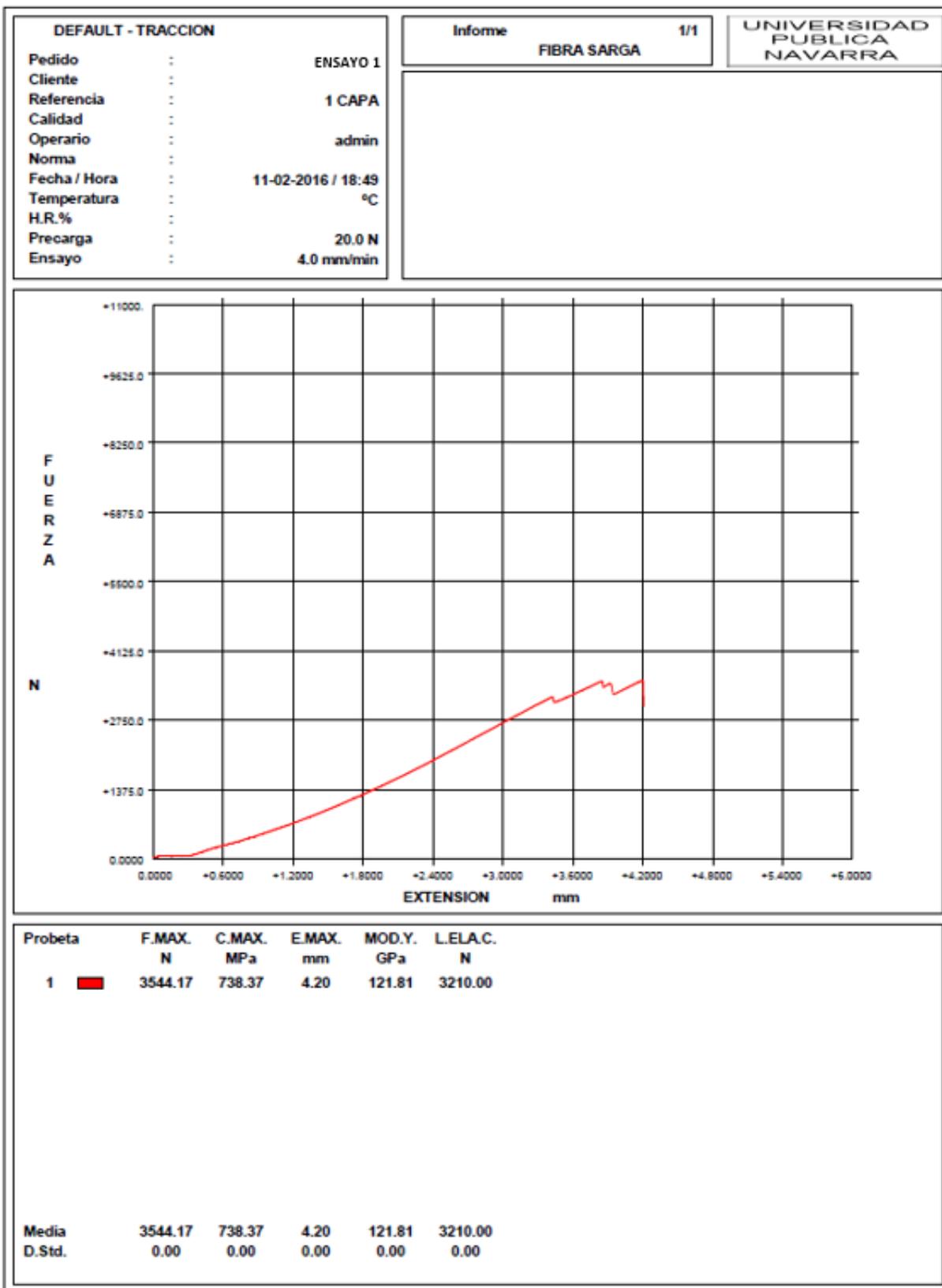


Figura 69. Gráfica del ensayo 1 (1 capa de tejido bidireccional)

Magnetómetro de gradiente alterno de campo (AGM)

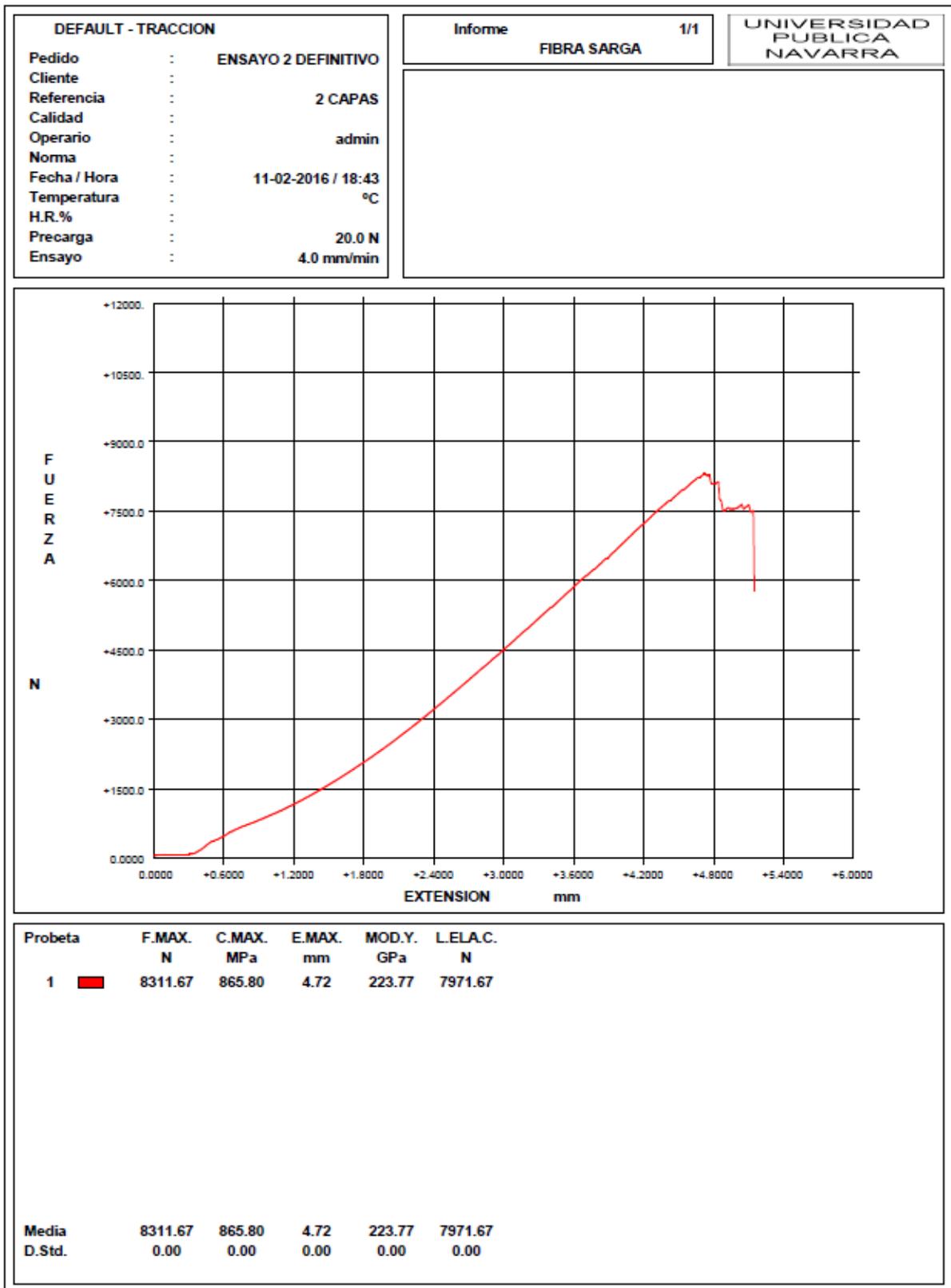


Figura 70. Gráfica del ensayo 2 (2 capas de tejido bidireccional)

Magnetómetro de gradiente alterno de campo (AGM)

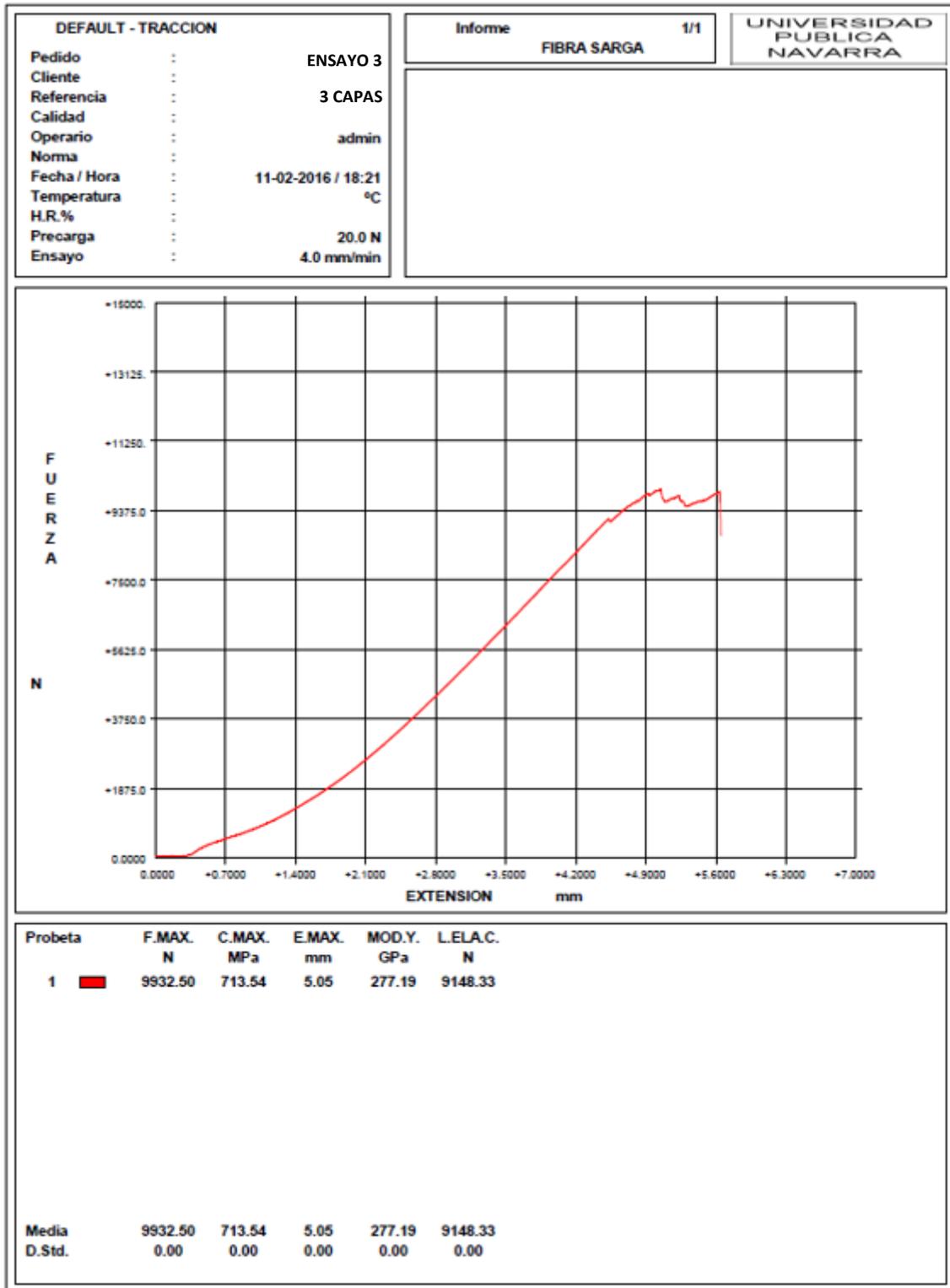


Figura 71. Gráfica del ensayo 3 (3 capas de tejido bidireccional)

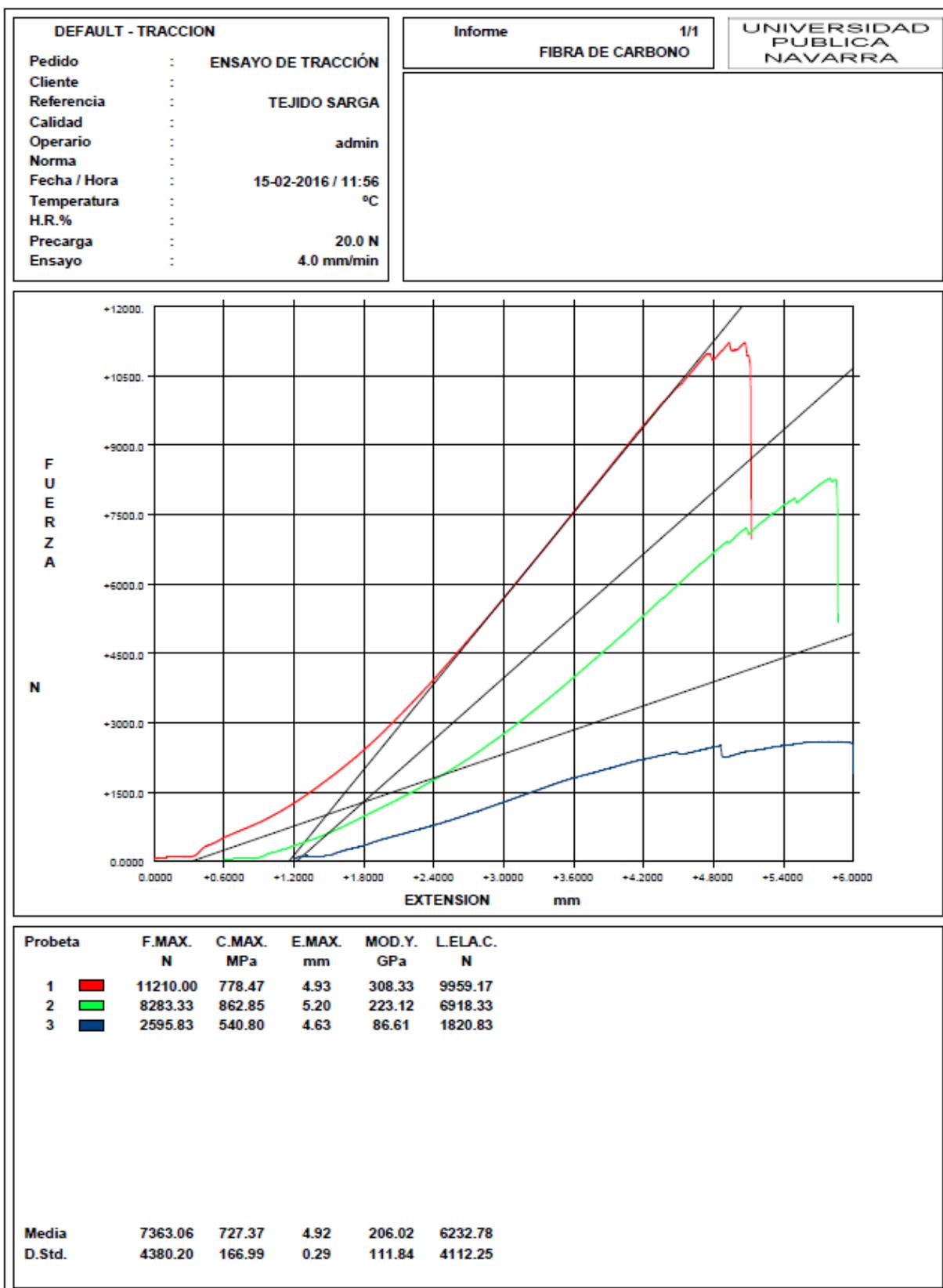


Figura 72. Gráfica del ensayo conjunto (1, 2 y 3 capas de tejido bidireccional)

Con los datos numéricos se podía apreciar que el Módulo de Young era muy elevado, así que se pasó a calcular con los datos de la gráfica. Al realizarlos se descubrió que estos últimos eran muy inferiores a los calculados por el software, así que se realizó una tabla de Excel para contrastar los resultados (*Tabla 4*).

Con la tabla de datos realizada, se puede comprobar que entre los datos numéricos y los gráficos hay un factor sección en mm², por lo tanto el ensayo de tracción no es suficiente para determinar las propiedades mecánicas de la fibra de carbono.

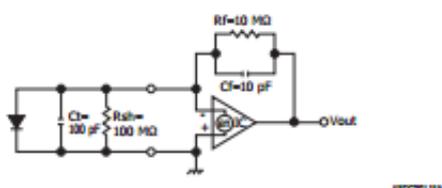
9.5 Anexo 5: Referencias bibliográficas

9.5.1 Hamamatsu, Si Photodiodes

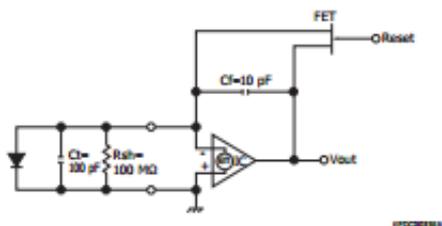
prevents unstable operation of the circuit in high-frequency regions. The feedback capacitance and feedback resistance also form a lowpass filter with a time constant of $C_f \times R_f$, so their values should be chosen according to the application. When it is desired to integrate the amount of incident light in applications such as radiation detection, R_f should be removed so that the op amp and C_f act as an integrating circuit. However, a switch is required to discharge C_f in order to detect continuous signals.

[Figure 1-18] Connection examples of Si photodiode and op amp

(a)



(b)



IC: op amp
en: equivalent input voltage noise of op amp

Bias current

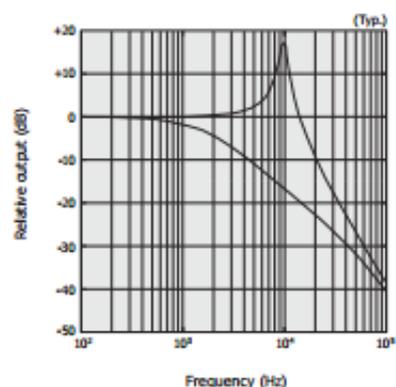
Since the actual input impedance of an op amp is not infinite, some bias current will flow into or out of the input terminals. This may result in error, depending on the magnitude of the detected current. The bias current which flows in an FET-input op amp is sometimes lower than 0.1 pA. Bipolar op amps, however, have bias currents ranging from several hundred picoamperes to several hundred nanoamperes. In general, the bias current of FET-input op amps doubles for every 10 °C increase in temperature, while the bias current of bipolar op amps decreases. In some cases, the use of a bipolar op amp should be considered when designing circuits for high-temperature operation. As is the case with offset voltage, the error voltage attributable to the bias current can be adjusted by means of a variable resistor connected to the offset adjustment terminals of the op amp. Leakage currents on the printed circuit board used to configure the circuit may be greater than the op amp's bias current. Besides selecting the optimal op amp, consideration must be given to the circuit pattern design and parts layout, as well as the use of guard rings and Teflon terminals.

Gain peaking

The high-frequency response characteristics of a Si photodiode and op amp circuit are determined by the time constant $R_f \times C_f$. However, if the terminal capacitance or input capacitance is large, a phenomenon known as "gain peaking" will sometimes occur. Figure 1-19 contains examples of frequency response characteristics showing gain peaking. The output voltage increases abnormally in the high-frequency region [see the upper trace in Figure 1-19 (a)], causing significant ringing in the output voltage waveform in response to the pulsed light input [Figure 1-19 (b)]. This gain operates in the same manner with respect to op amp input noise and may result in abnormally high noise levels [see the upper trace in Figure 1-19 (c)]. This occurs at the high-frequency region when each reactance of the input capacitance and the feedback capacitance of the op amp jointly form an unstable amplifier with respect to noise. In such a case, adverse effects on light detection accuracy may result.

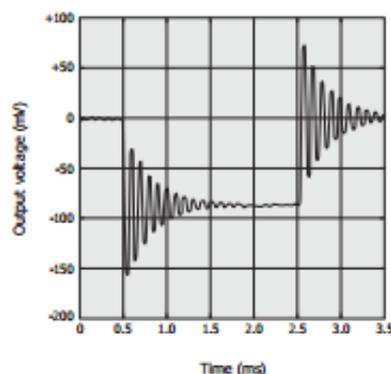
[Figure 1-19] Gain peaking

(a) Frequency characteristics



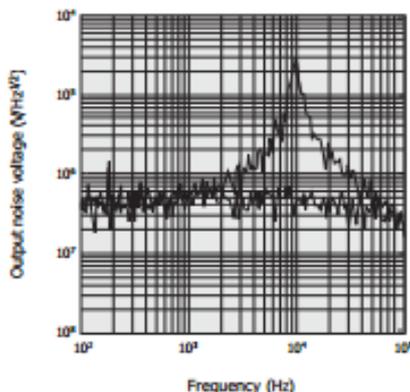
Circuit : Figure 1-18 (a) Upper trace: $C_f=0$ pF
Op amp : AD549 Lower trace: $C_f=10$ pF
Light source: 780 nm

(b) Light pulse response (typical example)



Circuit : Figure 1-18 (a) Light source: 780 nm
Op amp: AD549 $C_f=0$ pF

(c) Frequency characteristics of noise output (typical example)



Circuit : Figure 1-18 (a) Upper trace: Cf=0 pF
Op amp: AD549 Lower trace: Cf=10 pF

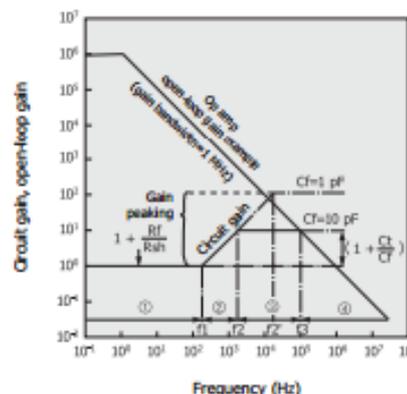
Elimination of gain peaking

To achieve a wide frequency characteristic without gain peaking and ringing phenomena, it is necessary to select the optimal relationship between the photodiode, op amp, feedback resistance, and feedback capacitance. It will prove effective in this case to reduce the terminal capacitance (Ct), as was previously explained in section 1-8, "Response speed." In the op amp, the higher the speed and the wider the bandwidth, the less the gain peaking that occurs. However, if adequate internal phase compensation is not provided, oscillation may be generated as a result. Connect the feedback elements in parallel, not only the resistance but also the feedback capacitance, in order to avoid gain peaking. The above measures can be explained as follows, using the circuit shown in Figure 1-18 (a).

As shown in Figure 1-20, the circuit gain of the op amp is determined for the low-frequency region ① simply by the resistance ratio of Rsh to Rf.

From the frequency $f_1 = \frac{R_{sh} + R_f}{2\pi R_{sh} R_f (C_f + C_t)}$, gain begins to increase with frequency as shown in region ②. Next, at the frequency $f_2 = \frac{1}{2\pi C_f R_f}$, and above, the circuit gain of the op amp enters a flat region ③ which is determined by the ratio of Ct and Cf. At the point of frequency f3 where circuit gain contacts the open-loop gain line (normally, rolloff is 6 dB/octave) of the op amp, region ④ is entered. In this example, f1 and f2 correspond to 160 Hz and 1.6 kHz, respectively, under the circuit conditions of Figure 1-18 (a). If Cf is made 1 pF, f2 shifts to f2' and the circuit gain increases further. What should be noted here is that, since the setting of increasing circuit gain in region ③ exceeds the open-loop gain line of the op amp, region ③ actually does not exist. As a result, gain peaking occurs in the frequency characteristics of the op amp circuit, and ringing occurs in the pulsed light response characteristics, then instability results [Figure 1-19].

[Figure 1-20] Graphical representation of gain peaking



To eliminate gain peaking, take the following measures:

- (1) Determine Rf and Cf so that the flat region ③ in Figure 1-20 exists.
- (2) When f2 is positioned to the right of the open-loop gain line of the op amp, use the op amp having a high frequency at which the gain becomes 1 (unity gain bandwidth), and set region ③.
- (3) Replace a photodiode with a low Ct value. In the example shown in Figure 1-20, $(1 + \frac{C_t}{C_f})$ should be close to 1.

The above measures (1) and (2) should reduce or prevent gain peaking and ringing. However, in the high-frequency region ④, circuit gain is present, and the input noise of the op amp and feedback resistance noise are not reduced, but rather, depending on the circumstances, may even be amplified and appear in the output. Measure (3) can be used to prevent this situation.

Using the above procedures, the S/N deterioration caused by gain peaking and ringing can usually be solved. However, regardless of the above measures, if load capacitance from several hundred picofarads to several nanofarads or more (for example, a coaxial cable of several meters or more and a capacitor) is connected to the op amp output, oscillation may occur in some types of op amps. Thus the load capacitance must be set as small as possible.

1-10 Application circuit examples

Ultra-low-light detection circuit

Ultra-low-light detection circuits require measures for reducing electromagnetic noise in the surrounding area, AC noise from the power supply, and internal op amp noise, etc.

Figure 1-21 shows some measures for reducing electromagnetic noise in the surrounding area.

9.5.2 Hoja de características Toray T300

**TECHNICAL
DATA SHEET**
No. CFA-001

TORAYCA®
T300 DATA SHEET

Baseline carbon fiber used in aerospace applications. Has 30 year production history and is known for its balanced composite properties, high quality, consistency, reliability and supplyability.

FIBER PROPERTIES

		English	Metric	Test Method
Tensile Strength		512 ksi	3,530 MPa	TY-030B-01
Tensile Modulus		33.4 Msi	230 GPa	TY-030B-01
Strain		1.5 %	1.5 %	TY-030B-01
Density		0.064 lbs/in ³	1.76 g/cm ³	TY-030B-02
Filament Diameter		2.8E-04 in.	7 μm	
Yield	1K	22,568 ft/lbs	66 g/1000m	TY-030B-03
	3K	7,523 ft/lbs	198 g/1000m	TY-030B-03
	6K	3,761 ft/lbs	396 g/1000m	TY-030B-03
	12K	1,862 ft/lbs	800 g/1000m	TY-030B-03
Sizing Type	40A, 40B		1.0 %	TY-030B-05
& Amount	40D		0.7 %	TY-030B-05
	50A, 50B		1.0 %	TY-030B-05
	Twist	Twisted, Untwisted, or Never twisted		

FUNCTIONAL PROPERTIES

CTE	-0.41 α·10 ⁻⁶ /°C
Specific Heat	0.19 Cal/g·°C
Thermal Conductivity	0.025 Cal/cm·s·°C
Electric Resistivity	1.7 x 10 ⁻³ Ω·cm
Chemical Composition: Carbon	93 %
Na + K	<50 ppm

COMPOSITE PROPERTIES *

Tensile Strength	270 ksi	1,860 MPa	ASTM D-3039
Tensile Modulus	20.0 Msi	135 GPa	ASTM D-3039
Tensile Strain	1.3 %	1.3 %	ASTM D-3039
Compressive Strength	215 ksi	1,470 MPa	ASTM D-695
Flexural Strength	260 ksi	1,810 MPa	ASTM D-790
Flexural Modulus	18.0 Msi	125 GPa	ASTM D-790
ILSS	14 ksi	10 kgf/mm ²	ASTM D-2344
90° Tensile Strength	11.0 ksi	76 MPa	ASTM D-3039

* Toray 250°F Epoxy Resin. Normalized to 60% fiber volume.

TORAY CARBON FIBERS AMERICA, INC.

T300

COMPOSITE PROPERTIES**

Tensile Strength	255 ksi	1,760 MPa	ASTM D-3039
Tensile Modulus	19.5 Msi	130 GPa	ASTM D-3039
Tensile Strain	1.3 %	1.3 %	ASTM D-3039
Compressive Strength	230 ksi	1,570 MPa	ASTM D-695
Compressive Modulus	18.5 Msi	125 GPa	ASTM D-695
In-Plane Shear Strength	14 ksi	98 MPa	ASTM D-3518
ILSS	15.5 ksi	11 kgf/mm ²	ASTM D-2344
90° Tensile Strength	11.5 ksi	80 MPa	ASTM D-3039

** Toray Semi-Toughened 350°F Epoxy Resin. Normalized to 60% fiber volume.

See Section 4 for Safety & Handling information. The above properties do not constitute any warranty or guarantee of values.

These values are for material selection purposes only. For applications requiring guaranteed values, contact our sales and technical team to establish a material specification document.

PACKAGING

The table below summarizes the tow sizes, twists, sizing types, and packaging available for standard material. Other bobbin sizes may be available on a limited basis.

Tow Sizes	Twist ¹	Sizing	Bobbin Net Weight (kg)	Bobbin Type ²	Bobbin Size (mm)					Spools per Case	Case Net Weight (kg)
					a	b	c	d	e		
1K	A	40A, 50A	1.0	I	94	99	320	135	260	15	15
	A	40A, 50A	1.0	II	76	82	192	132	156	16	16
	B	50B	1.0	II	76	82	192	132	156	16	16
3K	A	40A, 50A	2.0	II	76	82	192	157	156	12	24
	B	40B, 50B	2.0	II	76	82	192	157	156	12	24
6K	A	40D, 50A	2.0	II	76	82	192	157	156	12	24
	B	40D, 50B	2.0	II	76	82	192	157	156	12	24
12K	A	50A	4.0	II	76	82	192	204	156	6	24
	B	50B	4.0	II	76	82	192	204	156	6	24

¹ Twist A: Twisted yarn B: Untwisted yarn made from a twisted yarn through an untwisting process

² Bobbin Type See Diagram below



TORAY CARBON FIBERS AMERICA, INC.

6 Hutton Centre Drive, Suite #1270, Santa Ana, CA 92707 TEL: (714) 431-2320 FAX: (714) 424-0750
Sales@Toraycfa.com Technical@Toraycfa.com www.torayusa.com

9.5.3 Analog Devices AD620



Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier

AD620

FEATURES

Easy to use

- Gain set with one external resistor (Gain range 1 to 10,000)
- Wide power supply range (± 2.3 V to ± 18 V)
- Higher performance than 3 op amp IA designs
- Available in 8-lead DIP and SOIC packaging
- Low power, 1.3 mA max supply current

Excellent dc performance (B grade)

- 50 μ V max, input offset voltage
- 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, input offset drift
- 1.0 nA max, input bias current
- 100 dB min common-mode rejection ratio (G = 10)

Low noise

- 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ @ 1 kHz, input voltage noise
- 0.28 μ V p-p noise (0.1 Hz to 10 Hz)

Excellent ac specifications

- 120 kHz bandwidth (G = 100)
- 15 μ s settling time to 0.01%

APPLICATIONS

- Weigh scales
- ECG and medical instrumentation
- Transducer interface
- Data acquisition systems
- Industrial process controls
- Battery-powered and portable equipment

CONNECTION DIAGRAM

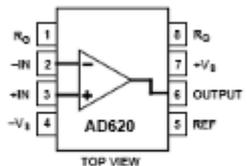


Figure 1. 8-Lead PDIP (N), CERDIP (Q), and SOIC (R) Packages

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to 10,000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery-powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 μ V max, and offset drift of 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications, such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of Superbeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz, 0.28 μ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, and 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 μ s to 0.01%, and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

Table 1. Next Generation Upgrades for AD620

Part	Comment
AD8221	Better specs at lower price
AD8222	Dual channel or differential out
AD8226	Low power, wide input range
AD8220	JFET input
AD8228	Best gain accuracy
AD8295	+2 precision op amps or differential out
AD8429	Ultra low noise

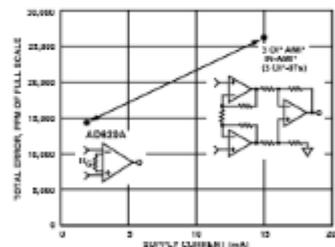


Figure 2. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

Rev. H
Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com
Fax: 781.326.8703 © 2003–2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

9.5.4 Hoja Características TL052

TL05x, TL05xA, TL05xY
ENHANCED-JFET LOW-OFFSET
OPERATIONAL AMPLIFIERS
SLOS178 – FEBRUARY 1997

- Direct Upgrades to TL07x and TL08x BiFET Operational Amplifiers
- Faster Slew Rate (20 V/μs Typ) Without Increased Power Consumption
- On-Chip Offset Voltage Trimming for Improved DC Performance and Precision Grades Are Available (1.5 mV, TL051A)
- Available in TSSOP for Small Form-Factor Designs

description

The TL05x series of JFET-input operational amplifiers offers improved dc and ac characteristics over the TL07x and TL08x families of BiFET operational amplifiers. On-chip zener trimming of offset voltage yields precision grades as low as 1.5 mV (TL051A) for greater accuracy in dc-coupled applications. Texas Instruments improved BiFET process and optimized designs also yield improved bandwidth and slew rate without increased power consumption. The TL05x devices are pin-compatible with the TL07x and TL08x and can be used to upgrade existing circuits or for optimal performance in new designs.

BiFET operational amplifiers offer the inherently higher input impedance of the JFET-input transistors, without sacrificing the output drive associated with bipolar amplifiers. This makes them better suited for interfacing with high-impedance sensors or very low-level ac signals. They also feature inherently better ac response than bipolar or CMOS devices having comparable power consumption.

The TL05x family was designed to offer higher precision and better ac response than the TL08x with the low noise floor of the TL07x. Designers requiring significantly faster ac response or ensured lower noise should consider the Excalibur TLE208x and TLE207x families of BiFET operational amplifiers.

AVAILABLE OPTIONS

T _A	V _{IO} max AT 25°C	PACKAGED DEVICES						CHIP FORM‡ (Y)
		SMALL OUTLINE† (D)	CHIP CARRIER (FK)	CERAMIC DIP (J)	CERAMIC DIP (JG)	PLASTIC DIP (N)	PLASTIC DIP (P)	
0°C to 70°C	800 μV	TL051ACD TL052ACD	—	—	—	—	TL051ACP TL052ACP	TL051Y TL052Y TL054Y
	1.5 mV	TL051CD TL052CD TL054ACD	—	—	—	TL054ACN	TL051CP TL052CP	
	4 mV	TL054CD	—	—	—	TL054CN	—	
–40°C to 85°C	800 μV	TL051AID TL052AID	—	—	—	—	TL051AIP TL052AIP	—
	1.5 mV	TL051ID TL052ID TL054AID	—	—	—	TL054AIN	TL051IP TL052IP	
	4 mV	TL054ID	—	—	—	TL054IN	—	
–55°C to 125°C	800 μV	TL051AMD TL052AMD	TL051AMFK TL052AMFK	—	TL051AMJG TL052AMJG	—	TL051AMP TL052AMP	—
	1.5 mV	TL051MD TL052MD TL054AMD	TL051MFK TL052MFK TL054AMFK	TL054AMJ	TL051MJG TL052MJG	TL054AMN	TL051MP TL052MP	
	4 mV	TL054MD	TL054MFK	TL054MJ	—	TL054MN	—	

† The D packages are available taped and reeled. Add R suffix to device type (e.g., TL054CDR).

‡ Chip forms are tested at 25°C.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



Copyright © 1997, Texas Instruments Incorporated

9.6 Anexo 6: Presupuesto

Presupuesto					
<i>Ud</i>	<i>Resumen</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario (€)</i>	<i>Importe total (€)</i>
DISEÑO Y FABRICACIÓN MAGNETÓMETRO					
MESA Z					
m2	Pletina de aluminio	200cm ² x 1cm	0,020	574,00	11,48
m2	Chapa de acero inoxidable	350cm ² x 0,2cm	0,035	395,00	13,83
ml	Varilla calibrada acero diámetro 6 mm	500 mm	0,500	26,08	13,04
ud	Husillo PTGSG 12 X 3	-	1,000	21,52	21,52
TOTAL MESA Z					79,70
PIEZAS PROTOTIPADAS					
cm3	Piezas prototipadas en PA2200	501,28cm ³	501,28	1,70	852,18
cm3	Piezas prototipadas en ABS	9,53 cm3 x 2 uds	19,06	1,90	36,21
TOTAL PIEZAS PROTOTIPADAS					888,39
MESA XY					
m2	Plancha de metacrilato (PMMA)	1m ² x 0,5cm	1,00	48,21	48,21
m2	Plancha de metacrilato (PMMA)	600cm ² x 0,3cm	0,06	29,23	1,75
Ud	Ensambladores	Diámetro 7mm x 25mm	4,00	1,36	5,44
Ud	Micrómetro de precisión	-	2,00	24,53	49,06
TOTAL MESA XY					104,46
DISPOSITIVO OPTOMECÁNICO					
ud	Carcasa de aluminio Deltron 486-221209-68	220 x 120 x 90mm	1,0000	49,30	49,30
ud	Diodo láser enfocable	-	1,0000	58,75	58,75
ud	Fotodiodo segmentado de silicio	-	1,0000	35,28	35,28
ud	Espejo	20 x 15 x 1mm	3,0000	4,68	14,04
m3	Taco de madera de haya	1000cm ³	0,0010	2.071,00	2,07
ml	Varilla de grafito	Diámetro 1mm x 300mm	0,3000	12,35	3,71
ml	Barra de teflón	Diámetro 10mm x 20mm	0,0200	34,72	0,69
ud	Motor paso a paso	-	1,0000	15,29	15,29
ud	Activación paso a paso Johnson Electric 53107	-	1,0000	32,37	32,37
ml	Barra de aluminio	Diámetro 10mm x 300mm	0,3000	58,88	17,66
ml	Barra de aluminio	Diámetro 20mm x 50mm	0,0500	63,54	3,18
m2	Plancha de fibra de carbono unidireccional	195 x 175 x 0,4mm	0,0341	290,00	9,89
m2	Plancha de fibra de carbono unidireccional	195 x 175 x 0,8mm	0,0341	580,00	19,78
m2	Plancha de fibra de carbono unidireccional	195 x 175 x 1,2mm	0,0341	870,00	29,67
m2	Plancha de fibra de carbono bidireccional	195 x 175 x 0,4mm	0,0341	315,00	10,74
m2	Plancha de fibra de carbono bidireccional	195 x 175 x 0,8mm	0,0341	630,00	21,48
m2	Plancha de fibra de carbono bidireccional	195 x 175 x 1,2mm	0,0341	945,00	32,22
TOTAL DISPOSITIVO OPTOMECÁNICO					356,12

Magnetómetro de gradiente alterno de campo (AGM)

TORNILLERÍA					
Ud	Tornillo autorroscante	Diámetro 4mm x 13mm	1,00	0,54	0,54
Ud	Tornillo prisionero	M3 X 6mm	7,00	0,22	1,54
Ud	Tornillo avellanado	M2,5 X 8mm	11,00	0,37	4,07
Ud	Tornillo avellanado	M4 X 20mm	8,00	0,43	3,44
Ud	Tuerca hexagonal	M4	4,00	0,17	0,68
Ud	Tuerca hexagonal	M2,5	12,00	0,14	1,68
Ud	Tornillo cabeza plana	M2,5 X 10mm	14,00	0,14	1,96
Ud	Tornillo cabeza plana	M5 X 30mm	4,00	0,62	2,48
Ud	Tuerca hexagonal	M5	4,00	0,32	1,28
TOTAL TORNILLERÍA					17,67
ALQUILER MAQUINARIA					
h	Alquiler Cortadora de agua	-	2,00	100,00	200,00
h	Alquiler Cortadora de láser Spirit GLS	-	12,00	25,00	300,00
h	Alquiler Torno Pinacho	-	1,00	25,00	25,00
h	Alquiler Fresadora	-	2,00	30,00	60,00
h	Horas efectivas de Mano de Obra	-	300,00	15,00	4.500,00
TOTAL ALQUILER MAQUINARIA					5.085,00
TOTAL DISEÑO Y FABRICACIÓN MAGNETÓMETRO					6.531,34
IVA				21%	1.371,58
TOTAL INSTALACIÓN CON IVA					7.902,92