



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO

Título del proyecto:

MAGNETÓMETRO DE GRADIENTE ALTERNO DE CAMPO

Ana J. Lecumberri Navascués

Ricardo J. Ortega Hertogs

Tudela, 14 de abril de 2011

Agradecimientos

Deseo agradecer a mi tutor de proyecto, Ricardo Ortega la dedicación para que este trabajo saliera adelante.

A los profesores y personal del campus de Tudela de la UPNa por su cercanía y apoyo en estos años.

Índice general

1. Introducción	5
2. Antecedentes	6
2.1. Magnetómetro de muestra vibrante (VSM).	6
2.2. Magnetómetro SQUID (Superconducting Quantum Interference Device).	7
2.3. Magnetómetro de gradiente de campo alterno (AGM).	8
3. Desarrollo del trabajo	10
3.1. Detector piezoeléctrico	10
3.1.1. El efecto piezoeléctrico	10
3.1.2. Criterios elección	11
3.1.3. Fijación PZT	12
3.2. Porta-muestras	13
3.2.1. Diseño	13
3.2.2. Fibras porta-muestras	14
3.3. Traductor XYZ- φ y compensador de la inclinación	15
3.3.1. Traductor lineal X	15
3.3.2. Traductor lineal Y	16
3.3.3. Traductor lineal Z	17
3.3.4. Giro φ	19
3.3.5. Verticalidad de Euler θ y η	20
3.4. Estanqueidad para el vacío	22
3.5. Conjunto	24
3.6. Lista de materiales	27
3.7. Lista de programas	27
4. Anexo I (Planos)	30
4.1. Pieza Z1	31
4.2. Pieza Z2	32
4.3. Pieza Z3	33
4.4. Soporte principal	34
4.5. Base	35
4.6. Soporte base	36
4.7. Soporte X	37
4.8. Soporte X Y	38
4.9. Soporte bajo PZT 3	39

4.10. Soporte PZT 5	40
4.11. Soporte bajo PZT 5	41
4.12. Porta-muestras	42
4.13. Clip 3	43
4.14. Clip 5	44
4.15. Manivela	45
4.16. Manivela 2	46
4.17. Tapa	47
4.18. Tubo	48
4.19. Tambor graduado	49
4.20. Rosca tope	50
4.21. Guia 8	51
4.22. Guia 8 x 115	52
4.23. Conjunto Z	53
4.24. Conjunto X Y	54
4.25. Conjunto porta_muestra	55
4.26. Conjunto	56
5. Anexo II (Cálculos)	57
5.1. Volúmenes/ centros de gravedad piezas	57
5.2. Cálculos Muelles	67
5.2.1. Muelle 6	67
5.2.2. Muelle 8	74
6. Anexo III(Catálogos)	81
6.1. Cojinetes	82
6.2. Conectores	83
6.3. Juntas toricas	84
6.4. Muelles	85
6.5. Amortiguación	86
6.6. Bomba vacío	87
6.7. Plásticos técnicos	88
6.8. Tornillería	89

Capítulo 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 (en torno a 1990), destinado a la determinación del momento magnético de una sustancia, en presencia de un campo magnético aplicado, a una temperatura dada.

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 en la dirección del gradiente 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 transductor, que genera una tensión eléctrica proporcional.

Capítulo 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 [1].

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 al 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 $\sim 10^{-6} \text{emu}$.¹

¹Magnetómetros VSM comerciales tienen del orden de 10^{-8}emu . 1 emu equivale a 10^{-3}Am^2

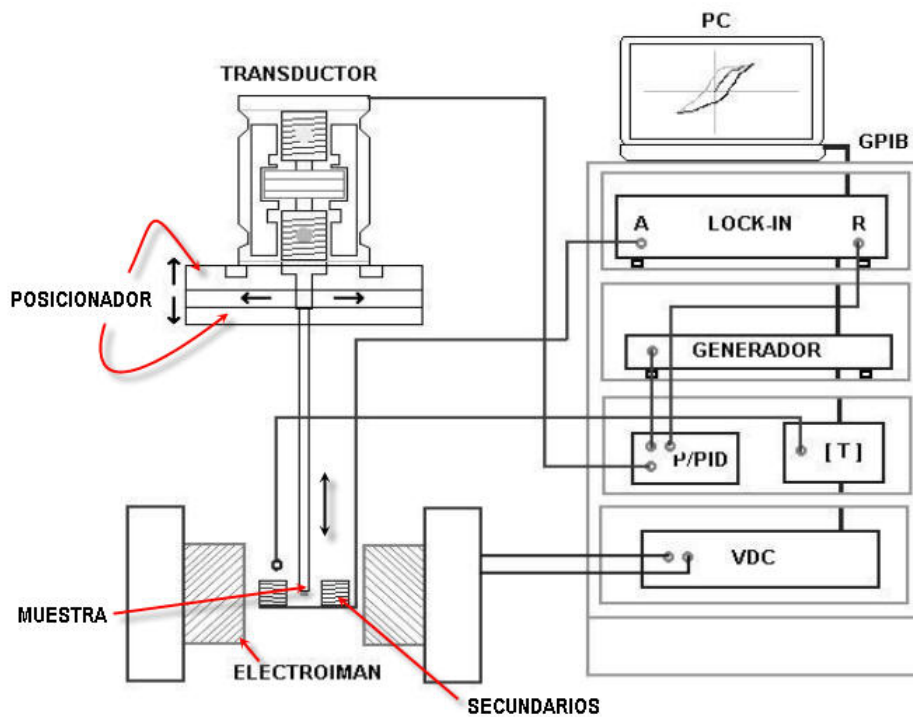


Figura 2.1.1: Magnetómetro de muestra vibrante (VSM) [20]

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 [18]. 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 flujo² $\phi_0 = \frac{2e}{h} \approx 2,07 \times 10^{-15} \text{Wb}$.

Sin embargo, quizá la mayor limitación de este equipo sea su alto coste de mantenimiento ya que trabaja con helio líquido.³

² $1 \text{Wb} = 1 \text{Tm}^2$ Es unidad S.I. de flujo de campo magnético, h es la constante de Planck y e la carga del electrón.

³Quantum Design comercializa, desde hace poco tiempo, el magnetómetro con un criostato de ciclo cerrado, sin necesidad de helio líquido.

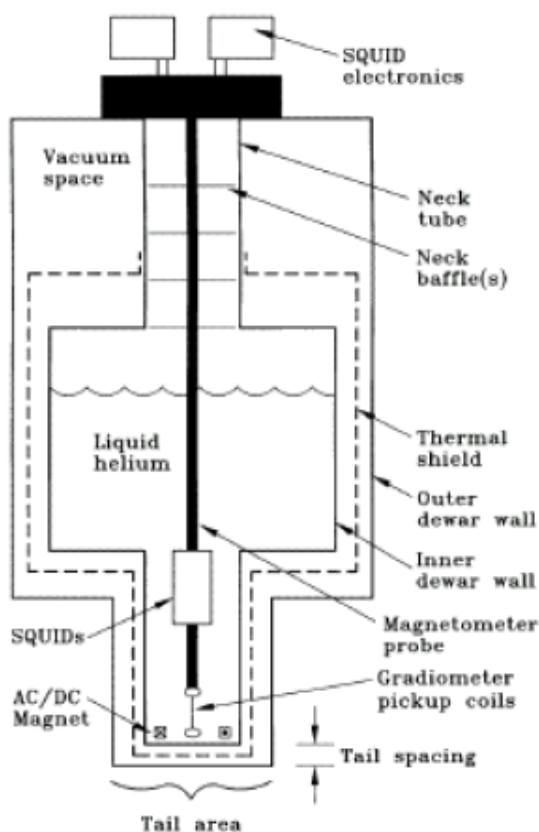


Figura 2.2.1: Esquema de un magnetómetro de SQUID

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 [2], la comercialización de tal instrumento llegó alrededor de 1990. Este proyecto se basa en las publicaciones de Flanders [3, 4].

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 lámina piezoeléctrica (PZT) bimórfica 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, refs. [3, 4].

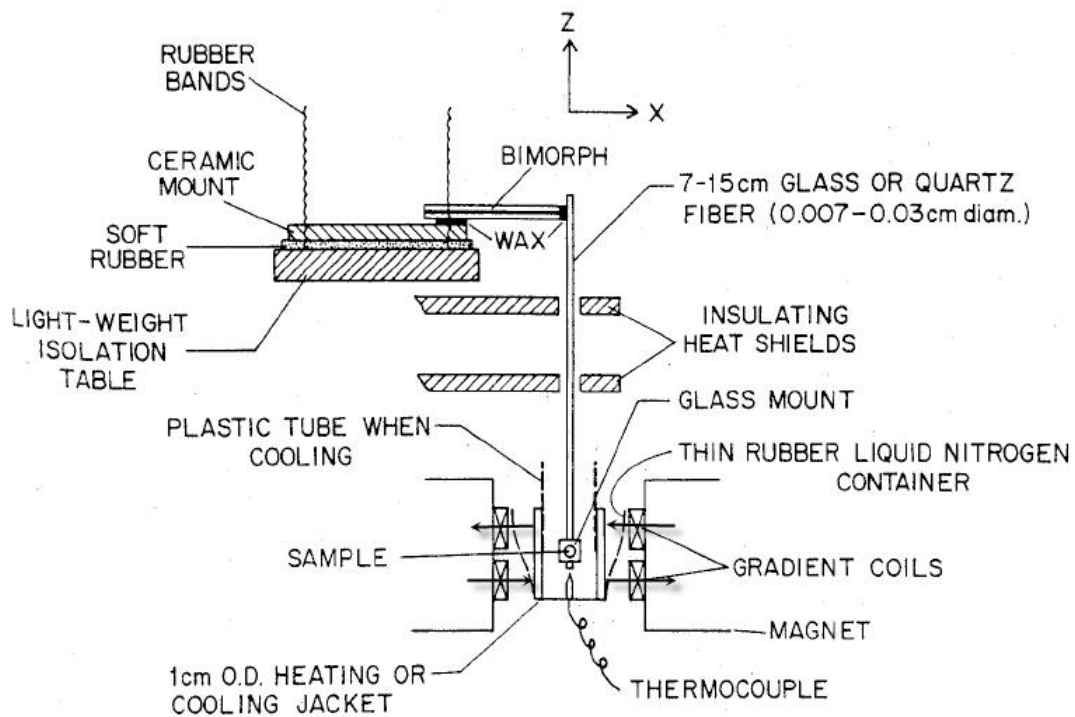


Figura 2.3.1: Esquema del magnetómetro de gradiente de campo alterno, según [1]

Capítulo 3

Desarrollo del trabajo

3.1. Detector piezoeléctrico

3.1.1. El efecto piezoeléctrico

El fenómeno de la piezoelectricidad consiste en la aparición de una deformación espontánea del material cuando se polariza eléctricamente, sometido a la acción de un campo eléctrico. También se da el fenómeno inverso. Bajo la acción de una tensión mecánica, el material se polariza eléctricamente. Todos los materiales ferroeléctricos¹ son piezoeléctricos. Sin embargo algunos materiales como el cuarzo son piezoeléctricos pero no son ferroeléctricos [5, 6].

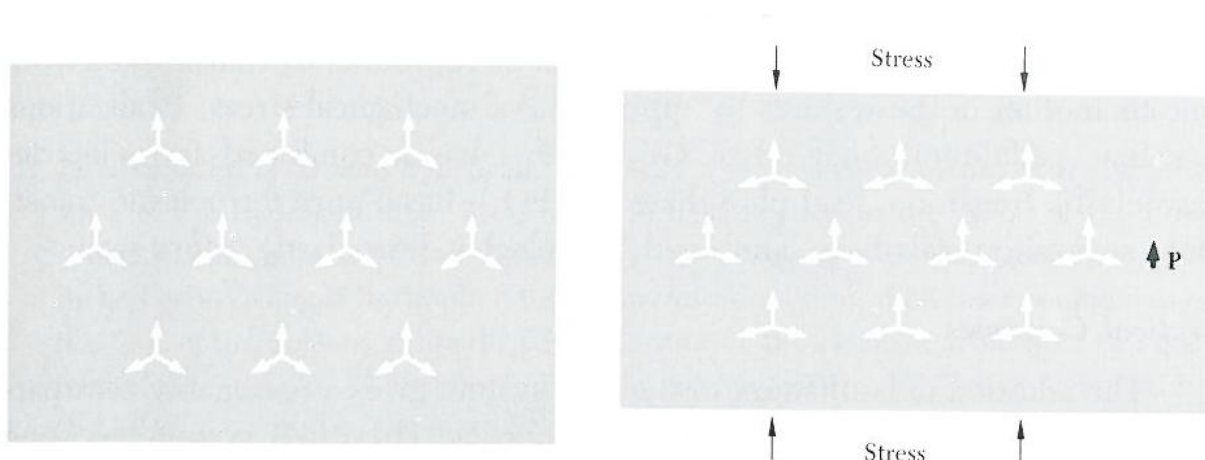


Figura 3.1.1: El cuarzo sometido a tensión mecánica se polariza eléctricamente, pero no es un ferroeléctrico. [5]

En la actualidad los materiales piezoeléctricos más usados son cerámicas tipo PZT (titanato de circonio y plomo). El ion de titanio, en el centro del cubo, se desplaza acercándose a un oxígeno, lo que genera la polarización y una distorsión de la red cúbica a tetragonal[6].

¹Son los análogos eléctricos a los materiales ferromagnéticos

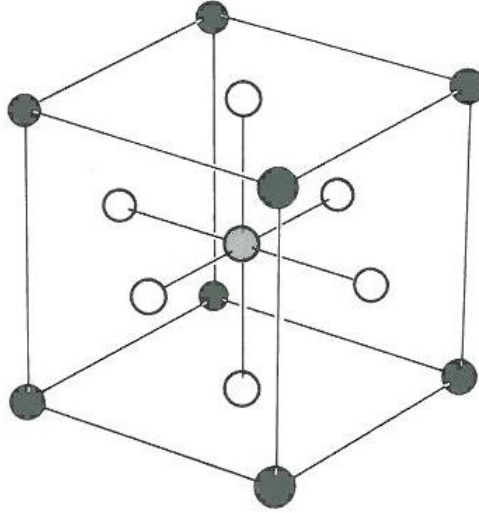


Figura 3.1.2: Estructura tipo Perovskita del titanato de bario (BaTiO_3)

3.1.2. Criterios elección

Teniendo en cuenta que un gradiente de campo magnético típico es $\frac{\partial H}{\partial Z} \sim 50 \text{ Oe/cm}$ [4], equivalente a $4 \times 10^5 \text{ Am}^{-2}$, una esferita de níquel de 1 mm de diámetro, imanada a saturación posee un momento magnético: $M_s \cdot V = 484 \times 10^3 \text{ A/m} \times 5,2 \times 10^{-10} \text{ m}^3 \approx 2,5 \times 10^{-4} \text{ Am}^2$ [19]. La fuerza sobre la esferita de níquel es

$$F_z = \mu_0 \cdot M_s \cdot V \cdot \frac{\partial H}{\partial Z} \approx 16 \times 10^{-6} \text{ N}$$

Para una lamina piezoeléctrica bimórfica (serie) de longitud $L = 10 \text{ mm}$, anchura $w = 3 \text{ mm}$ y espesor $h = 1 \text{ mm}$, la tensión generada por la lámina es, de la tabla 3.1.3, $V_{\text{serie}} \approx 1 \text{ mV}$.

Empleando un amplificador lock-in,² de sensibilidad $\sim 10 \text{ nV}$, la resolución del magnetómetro sería $3 \times 10^{-9} \text{ Am}^2$ (equivalente a $3 \times 10^{-6} \text{ emu}$). Este valor podría mejorarse aumentando el gradiente de campo. También aumenta el factor de calidad de la resonancia mecánica de la lamina piezoeléctrica acoplada al sistema varilla-muestra si el conjunto se encuentra en vacío, debido a la disminución de fricción con el aire. Gibson y Schultz reportan haber conseguido una sensibilidad de 10^{-11} emu [7], que incluso mejoran en una variante del magnetómetro [8].

Teniendo en cuenta la fuerza ejercida por la muestra la longitud del voladizo y la flecha máxima permitida, elegimos PZT de $0,6 \times 5 \times 20$ y $0,6 \times 3 \times 20$, de piezoeléctricos cerámicos Morgan [9].

²El modelo SR 830 de Stanford Researd Systems presenta un ruido de entrada de $5 \mu\text{V}_{\text{rms}}/\sqrt{\text{Hz}}$. Revisión 2.4 del manual, Junio 2009)

PARAMETER	PARALLEL BIMORPH	SERIES BIMORPH	UNIT
DEFLECTION	$9 \cdot 10^{-10} \times \frac{L^2}{h^2}$		m/V
BENDING	$7 \cdot 10^{-11} \times \frac{L^3}{W \cdot h^3}$	$7 \cdot 10^{-11} \times \frac{L^3}{W \cdot h^3}$	m/N
RESONANCE FREQUENCY	$400 \times \frac{h}{L^2}$	$400 \times \frac{h}{L^2}$	Hz
CHARGE OUTPUT	$8 \cdot 10^{-10} \times \frac{L^2}{h^2}$	$4 \cdot 10^{-10} \times \frac{L^2}{h^2}$	C/N
CAPACITANCE	$8 \cdot 10^{-8} \times \frac{L_t \cdot W}{h}$	$2 \cdot 10^{-8} \times \frac{L_t \cdot W}{h}$	F
VOLTAGE OUTPUT	$10^{-2} \times \frac{L^2}{L_t \cdot h \cdot W}$	$2 \cdot 10^{-2} \times \frac{L^2}{L_t \cdot h \cdot W}$	V/N

Figura 3.1.3: Tabla PZT [9]

Las expresiones de la figura 3.1.3 están deducidas en el artículo de Wang *et al.* [10] En él, los autores concluyen además que las láminas bimórficas presentan mejor sensibilidad que las unimórficas y las de triple capa, para una misma geometría.

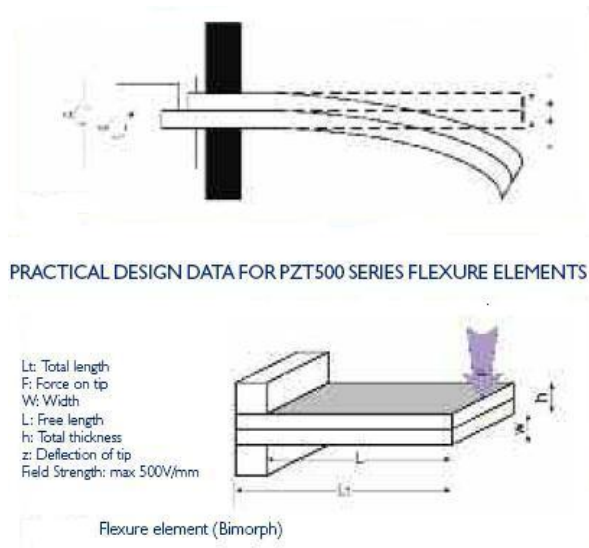


Figura 3.1.4: Esquema de la lámina piezoeléctrica en voladizo. De [9]

3.1.3. Fijación PZT

Como pueden utilizarse PZT de diferentes medidas, en nuestro prototipo se limita a dos, de dimensiones (en mm) $0,6 \times 5 \times 20$ y $0,6 \times 3 \times 20$. Para ello, se deben utilizar dos soportes diferentes. La longitud de empotramiento es en ambos casos la mínima $\simeq 2$ mm. De este modo se mantiene una máxima longitud en el voladizo.

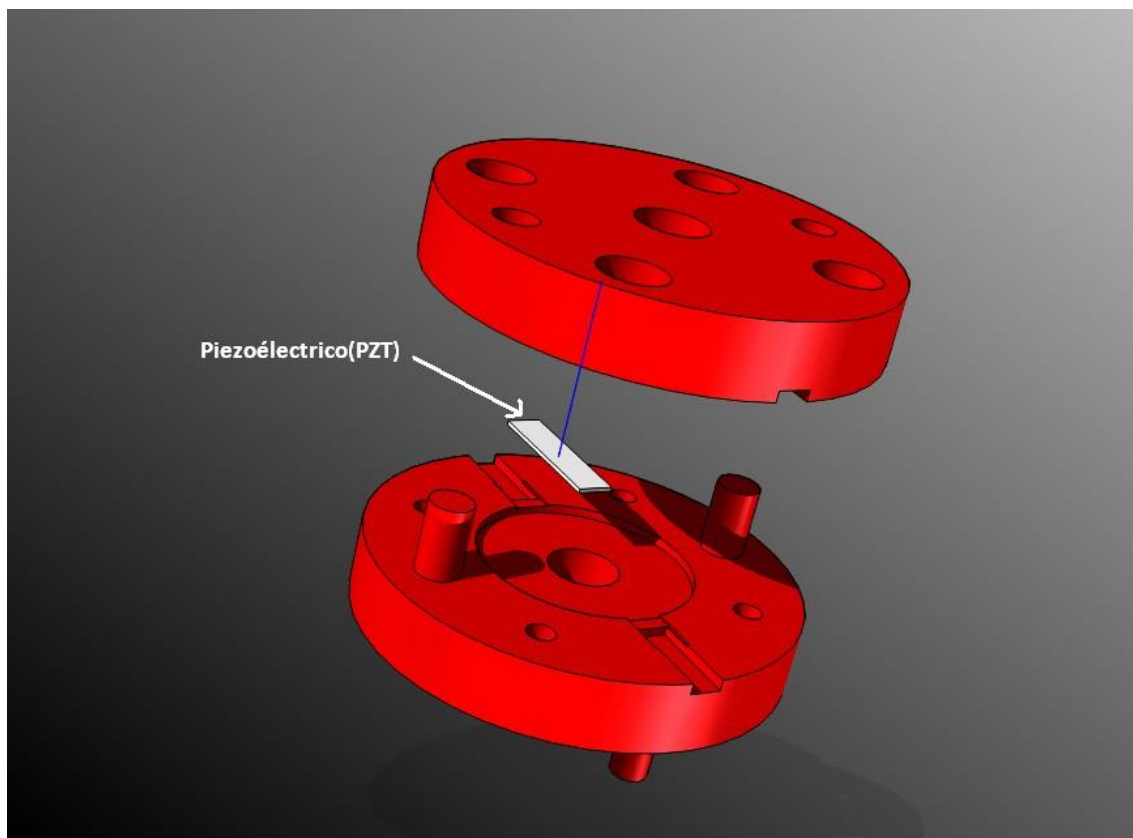


Figura 3.1.5: Soportes del detector piezoeléctrico (PZT)

Los cables de la conexión a la lámina se extraen por la parte posterior, donde se unen a los cables del conector principal [11] (conector exterior del cabezal) por medio de un conector auxiliar secundario, si el cambio de PZT es frecuente, o bien soldándolo si se sustituye por rotura.

Este soporte se puede utilizar con un solo piezoeléctrico como en la figura 3.1.5, pero además tiene la opción de montar otro PZT en paralelo, con el que se pueden realizar ensayos sobre la mejora de la sensibilidad.

3.2. Porta-muestras

El porta-muestras es la parte responsable de transmitir la fuerza y el movimiento de la muestra a estudiar al detector piezoeléctrico (PZT).

3.2.1. Diseño

El cambio de muestras en el magnetómetro debe ser una operación sencilla debido al reducido tamaño del conjunto. El diseño permite colocar la muestra en la varilla en el exterior con comodidad y una vez posicionada, colocar todo el conjunto sobre el PZT fijándolo con el clip correspondiente.

La pieza principal *porta-muestras*, plano 4.12, es compatible para todos los montajes posibles con uno o dos PZT de 3 ó 5 mm de ancho. Con esto limitamos el número de piezas necesarias y la posibilidad de error. Lo único que cambia en el montaje es el clip de fijación, de 3 ó 5 mm (véanse los planos 4.13 y 4.14).



Figura 3.2.1: Esquema y piezas de la unión muestra-PZT

3.2.2. Fibras porta-muestras

Requerimientos.

Para evitar conducción térmica hacia el detector piezoeléctrico, es necesario emplear materiales de baja conductividad térmica. Por ello es deseable no emplear materiales metálicos, o bien, si se emplearan, intercalar roturas de puente térmico. Esto último limita la rigidez de la fibra, sin embargo permite realizar un intercambio de muestras más cómodo, dado lo delicado de la sujeción entre el detector piezoeléctrico y la fibra porta-muestras.

Considerando muestras magnéticas anisótropas, la acción de un campo magnético sobre la muestra en una dirección que no es la de fácil imanación da lugar a un par τ que tiende a orientar el momento magnético \mathbf{m} de la muestra en la dirección del campo \mathbf{B}

$$\tau = \mathbf{m} \times \mathbf{B} \quad (3.2.1)$$

Es necesario que la fibra sea de una rigidez suficiente, que limite su ángulo de torsión por debajo de cierto valor (como se indica en la tabla 3.2.1).

La constante de torsión C de una fibra cilíndrica de longitud L y diámetro d es [12]

$$C = \frac{\pi}{32} \mu \frac{d^4}{L} \quad (3.2.2)$$

	$d_{min} (\mu\text{m})$	
	vidrio	
μ (GPa)	28,5	
	$\varphi_{max} = 1^\circ$	$\varphi_{max} = 0,1^\circ$
$L = 150$ mm	235	419
$L = 200$ mm	253	450

Cuadro 3.2.1: Diámetro mínimo d_{min} de la fibra compatible con una torsión inferior a φ_{max} , en función de la longitud L de la fibra. El módulo de rigidez del material es μ .

3.3. Traslador XYZ- φ y compensador de la inclinación

Una parte esencial del proyecto consiste en el posicionamiento mecánico de la muestra. Para ello desarrollamos tres trasladadores lineales en los ejes X, Z e Y, además de un movimiento angular de rotación alrededor del eje Z. Es importante que el eje de sujeción de la varilla esté vertical, para lo que se han diseñado dos sistemas de regulación basadas en los ángulos de Euler θ y η . En la Fig. 3.3.1 se puede ver la nomenclatura utilizada, ejes X, Y, Z y los ángulos girando en torno a ellos.

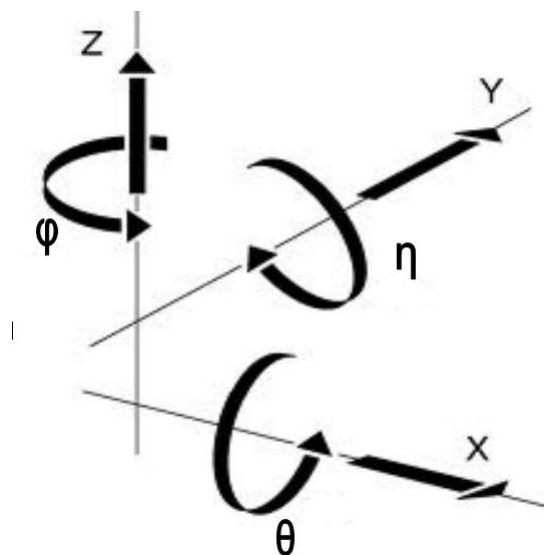


Figura 3.3.1: Ejes X, Y, Z y ángulos φ, θ y η

Los requerimientos iniciales eran: desplazamientos $\sim \pm 10$ mm en el plano horizontal XY, con precisión $\lesssim 50 \mu\text{m}$, y en el eje vertical Z, en dos etapas, un paso grueso de 100 mm y otro fino de $\sim \pm 10$ mm, con precisión $\lesssim 50 \mu\text{m}$. Debe permitir también una rotación de 360° alrededor del eje Z, con precisión de $\sim \pm 0,5^\circ$.

Uno de los requisitos indispensables es la realización de nuestro magnetómetro es la utilización de materiales comerciales estándar o realizables en las instalaciones de la UPNa.

3.3.1. Traslador lineal X

Para el desplazamiento en el eje X se utiliza un sistema de guías en acero inoxidable A4.

Los elementos en acero inoxidable son no ferromagnéticos. La elección apropiada del acero

permite escoger su permeabilidad magnética³ por debajo de 1,05. Sin embargo, después de un laminado, la deformación del material puede dar lugar a la presencia de la fase ferromagnética. A este respecto, el acero de tipo A4 es el de menor permeabilidad. Si quisiéramos una permeabilidad aún menor, más cercana a 1, tendríamos que escoger aceros no magnéticos especiales, que elevarían mucho el coste, y que por ello se han descartado.

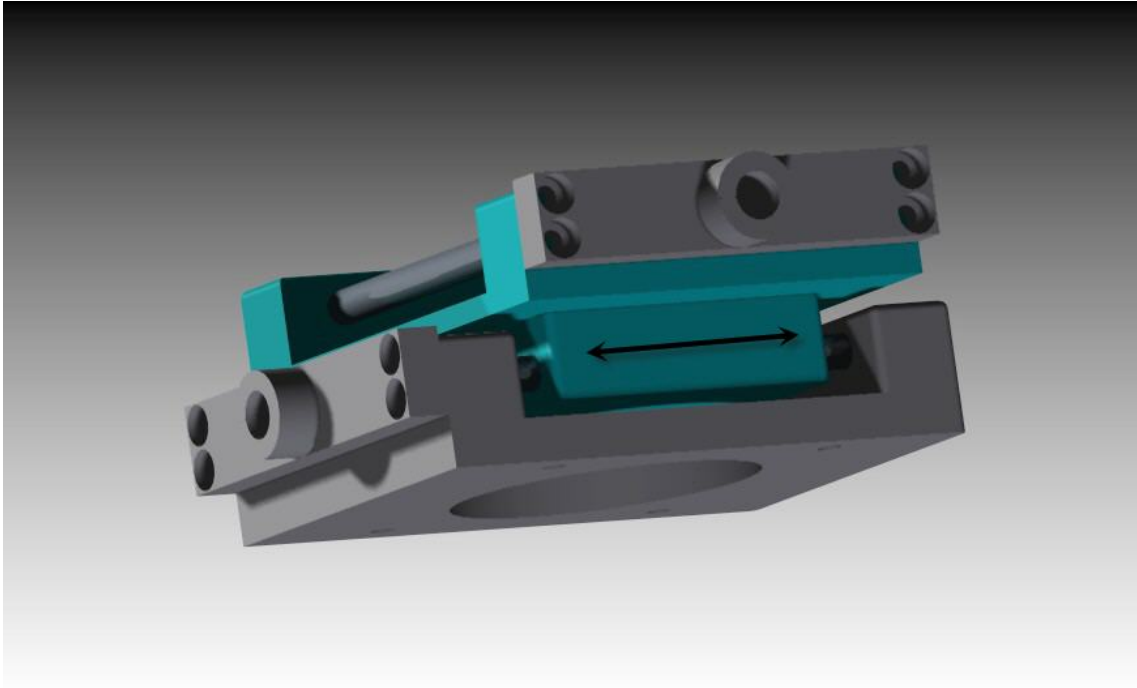


Figura 3.3.2: Sistema de desplazamiento X

Para la realización de las guías se parte de varilla calibrada con un acabado h9. El acabado h9 permite un deslizamiento correcto con el ajuste necesario, ausencia de holgura, sin elevar notablemente el precio. Medidas según plano 4.22.

La precisión se logra por medio de un husillo roscado de M10, también en acero inoxidable A4, con paso de 1.5 mm. Con un giro completo (360°) avanzamos 1,5 mm con lo que se tiene una precisión de $4,16 \mu\text{m}$. Para simplificar el manejo del magnetómetro, tiene divisiones cada 6° . La apreciación conseguida es de $25 \mu\text{m}$. Este tornillo sinfín une la manivela, plano 4.15, con el soporte X, plano 4.7, tomando como parte fija la rosca interna del tambor graduado, plano 4.19. Al girar la manivela a derecha o izquierda, el tornillo avanza o retrocede solidario respectivamente por la rosca fija y el soporte X, Y, plano 4.8, se desliza por las guías.

Con esto se mejoran los requisitos iniciales de la propuesta.

3.3.2. Traslador lineal Y

Para el desplazamiento en el eje Y se utiliza un sistema de guías y husillo roscado en acero inoxidable A4, al igual que en el eje X, que se mueve solidario a éste.

Para evitar el rozamiento se utilizan cojinetes cilíndricos para trabajos sin lubricación $DU^{TM}B$,

³La permeabilidad magnética es $\mu = \mu_0\mu_r = \mu_0(1 + \chi)$. El valor referido es el relativo $\mu_r = (1 + \chi)$, siendo χ la susceptibilidad magnética.

(sección 6.1, ref. [13]), idóneos para trabajar en seco y aptos para lubricar con aceite. Al ser de bronce se evita la corrosión además de ser no ferromagnéticos.⁴

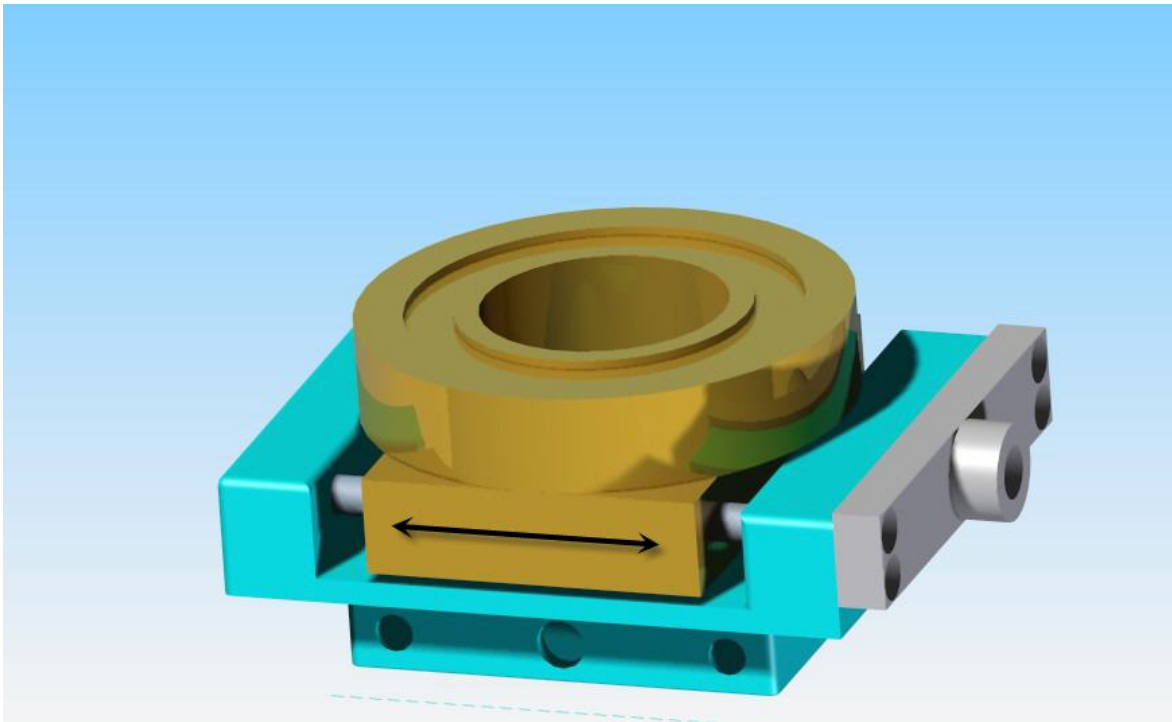


Figura 3.3.3: Sistema de desplazamiento Y

El funcionamiento es similar al trasladador X. El tornillo sinfín une la manivela, plano 4.15, con el soporte X-Y, plano 4.8, tomando como parte fija la rosca interna del tambor graduado, plano 4.19. Al girar la manivela a derecha o izquierda, el tornillo avanza o retrocede solidario respectivamente por la rosca fija y el soporte-base, plano 4.6, se desliza por las guías.

3.3.3. Traslador lineal Z

El desplazamiento en el eje Z se ha diseñado para permitir dos rangos de desplazamiento, que mejoren la manejabilidad. Un fino con precisión de $25\mu m$ al igual que los ejes X e Y. El paso grueso se logra desacoplando éste. Por medio de dos manivelas laterales, plano 4.16, colocadas en ambos laterales del soporte Z3, plano 4.3, se desplaza la parte central de soporte. Esto permite desplazar rápidamente todo el cabezal al quedar el soporte liberado de la rosca. Este desplazamiento no tiene precisión. La caída brusca de soporte en el desacoplamiento y la fijación en la posición de trabajo se aseguran con muelles. Los muelles seleccionados para introducir en las guías son (dimensiones en mm) $D = 10,53$; $d = 1,3$; $n = 15$; $L_0 = 52,52$, según cálculos en anexo II (sección 5.2.2). Los muelles seleccionados para posicionar las piezas internas del soporte son: $D = 6,5$; $d = 0,9$; $n = 5$; $L_0 = 17,13$, según los cálculos detallados en el anexo II (sección 5.2.1). Estos muelles cumplen con la norma [22] y con los requisitos de ergonomía para su actuación manual [21].

⁴El cobre es diamagnético, con una susceptibilidad magnética $\chi \simeq -0,94 \times 10^{-5}$, ref. [14]

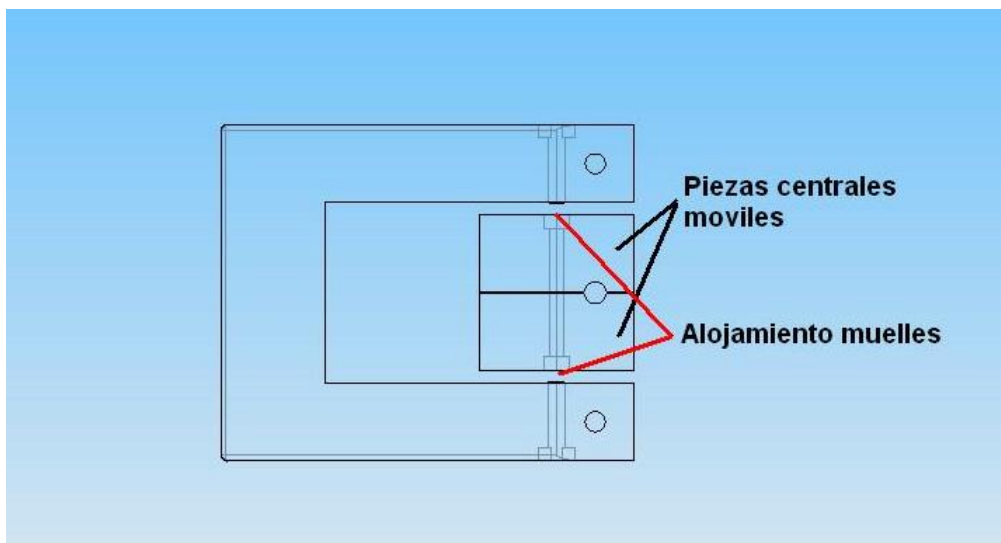


Figura 3.3.4: Soporte Z3

Al igual que en los otros dos trasladadores, se emplea el mismo sistema de guías en acero inoxidable A4. Así como el sistema de cojinetes para minimizar los efectos de fricción y el desgaste, con el fin de alargar la vida útil del instrumento.



Figura 3.3.5: Sistema de desplazamiento Z

3.3.4. Giro φ

El acoplamiento del cabezal (plano 4.5) al soporte (plano 4.6) es por medio de un eje cilíndrico, lo que nos permite que el cabezal pueda girar 360° en torno al eje Z. La precisión es de 1° según la escala del goniómetro colocada.

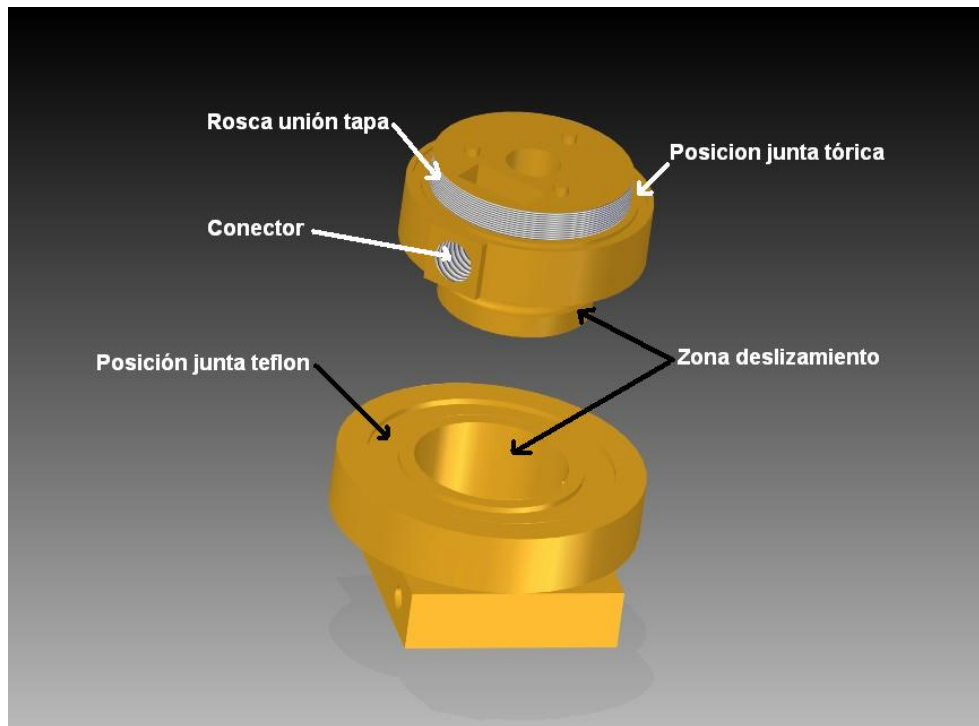


Figura 3.3.6: Sistema de giro del cabezal

Para evitar el rozamiento, se coloca una junta de teflón. En la figura 3.3.6 se muestra dónde debe posicionarse dicha junta.

Una vez posicionado, se fija el cabezal con una llave allen por medio de un tornillo prisionero. En el plano 4.5 puede verse, en la parte cilíndrica inferior, un rebaje para el tornillo prisionero, que evita que se salga de su posición.

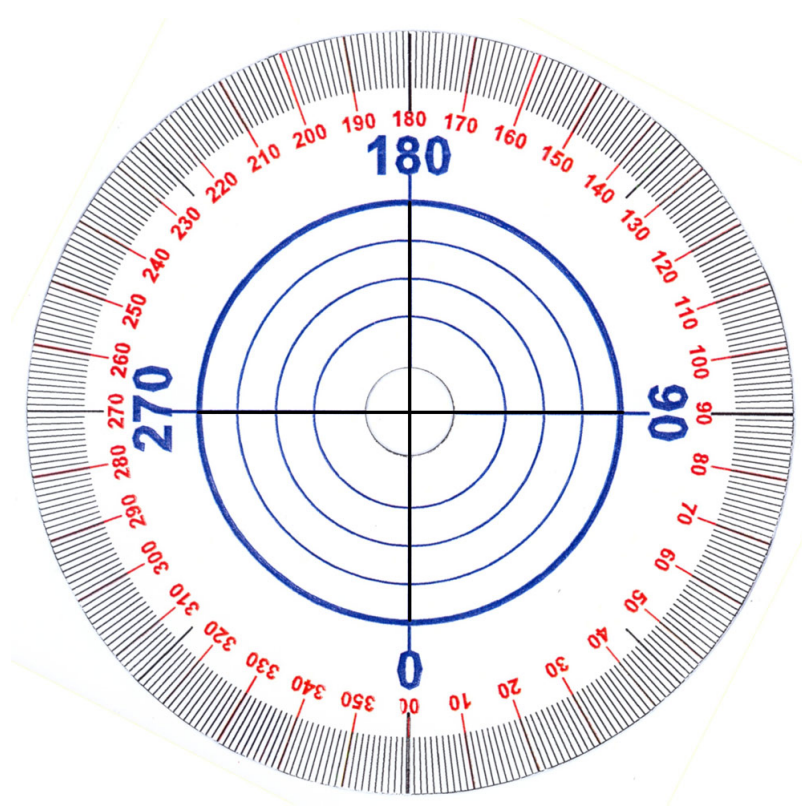


Figura 3.3.7: Goniómetro

3.3.5. Verticalidad de Euler θ y η

Una parte muy importante del posicionamiento de la muestra es que la varilla porta-muestras quede vertical, en la dirección del gradiente de campo. De otro modo se generarían fuerzas en otras direcciones, perdiendo precisión y sensibilidad.

El sistema se ha diseñado para regular de manera independiente cada grado de libertad.

- Ángulo θ , Fig. 3.3.8.

Para regular el ángulo θ se aflojan los tornillos allen que sujetan el soporte Z2, plano 4.2, y apretando o aflojando los prisioneros laterales de dicha pieza podemos girar todo el conjunto $\pm 5^\circ$. Para que este movimiento se realice correctamente, el soporte Z1, plano 4.1, está provisto de rótulas internas, tanto en los alojamientos de las guías como en el agujero pasante del eje de avance.

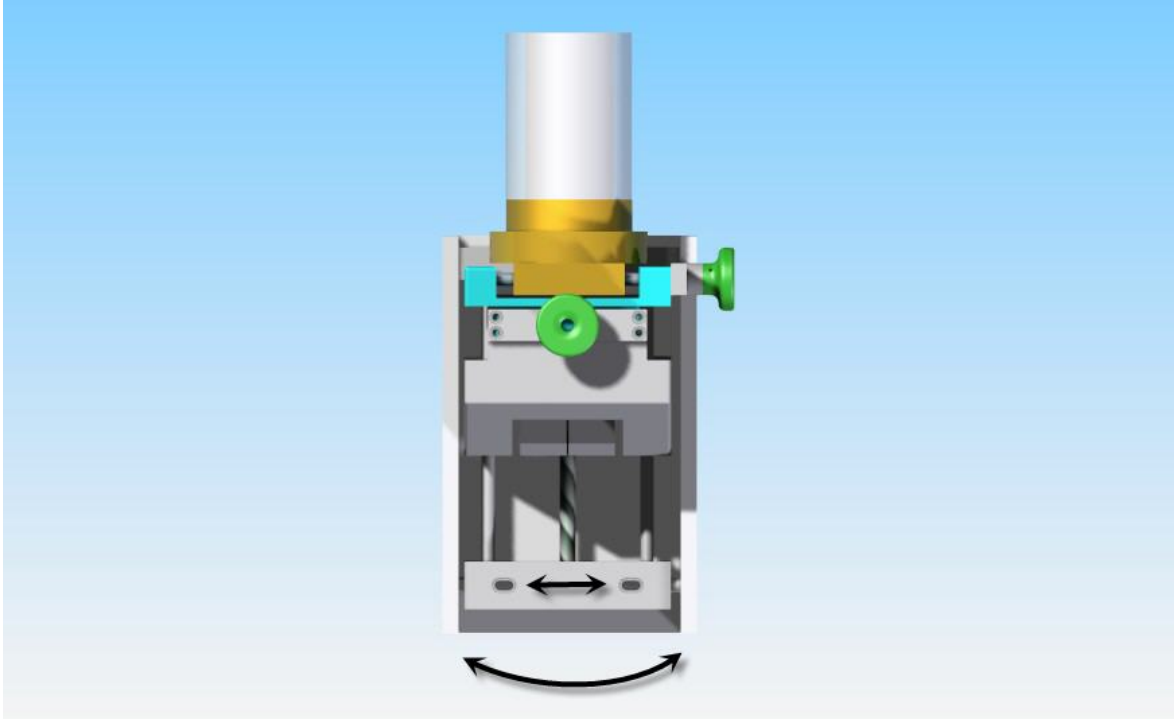


Figura 3.3.8: Giro de ángulo θ .

- Ángulo η , Fig. 3.3.9.

El ángulo η se regula liberando el soporte Z1 por medio de los tornillos laterales y apretando o aflojando los prisioneros frontales. Para permitir este desplazamiento, el soporte Z2 tiene libertad de movimiento en torno al eje X.

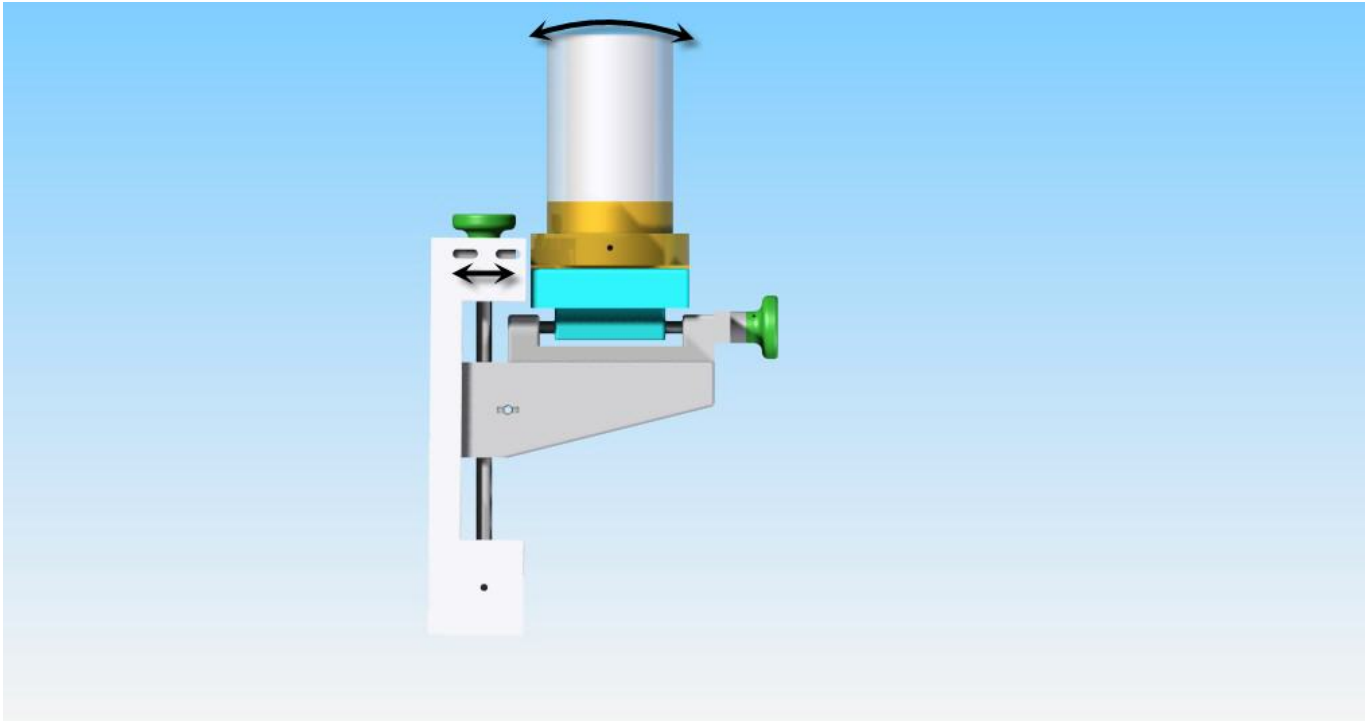


Figura 3.3.9: Giro de ángulo η .

3.4. Estanqueidad para el vacío

Para lograr la estanqueidad del sistema, que permita hacer vacío en él, todas las partes desmontables del cabezal están provistas de juntas tóricas, según lista de materiales 6.3. Los alojamientos para dichas juntas cumplen con las medidas y tolerancias del fabricante [15].

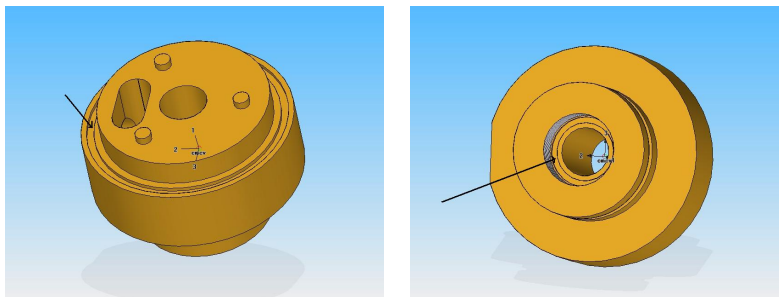


Figura 3.4.1: Cavidades para las juntas tóricas

Con la tapa superior en aluminio (plano 4.17) y el tubo inferior en acero inoxidable (plano 4.18), se mantiene el vacío y se consigue apantallar eléctricamente el conjunto, para evitar ruido eléctrico externo.

La conexión a la bomba de vacío se realiza por un pasa-muros en la parte superior de la tapa. Pueden utilizarse tubos de diferentes diámetros.

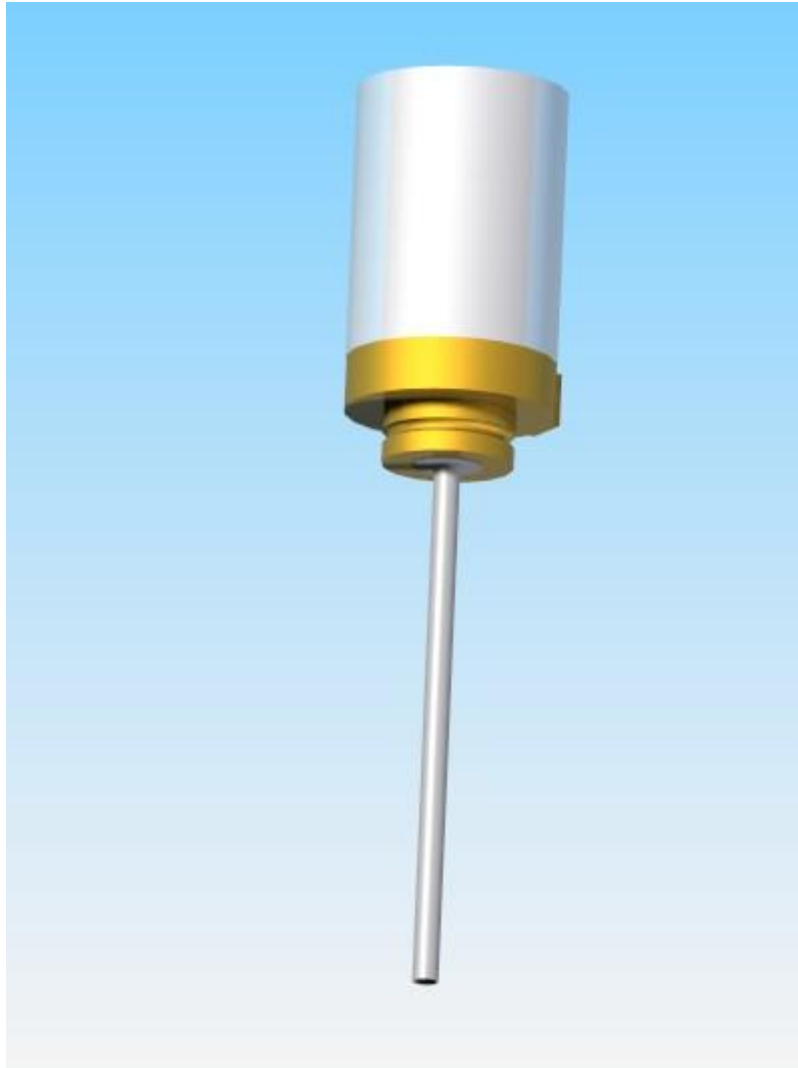


Figura 3.4.2: Conjunto cabezal.

También el conector de salida (sección 6.2) de cables permite mantener el vacío en el interior con una junta. Como se utiliza un vacío de $\sim 10^{-1}$ mbar,⁵ no es necesario utilizar conectores de alto vacío, mucho más costosos.

⁵Típico de una bomba rotatoria [16].

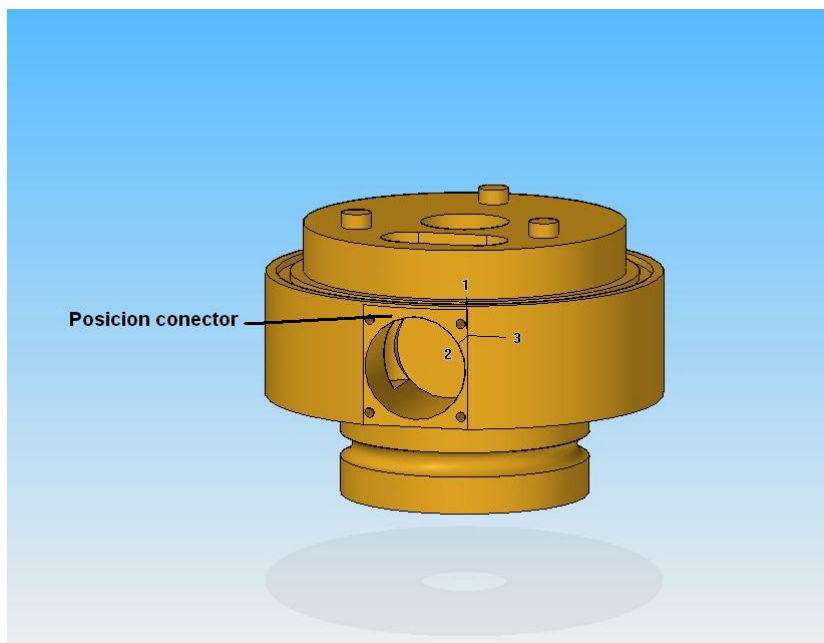


Figura 3.4.3: Posición conector en Base

3.5. Conjunto

El diseño del conjunto cumple con las condiciones iniciales de desplazamientos y precisión. Los cálculos iniciales se realizaron para la construcción de piezas en la prototipadora Formiga P100 de EOS [17], pero hubo que desechar esta idea al no obtener acabados con la calidad necesaria para este equipo. Se limita la fabricación en poliamida a la pieza Z3 (necesario cambiar de diseño para realizar con otro material y diferente proceso), el resto se ha calculado en aluminio.

En la Fig. 3.5.1 puede verse cómo queda el sistema después de ensamblado. Par más detalles, consúltense los planos en el Anexo I.

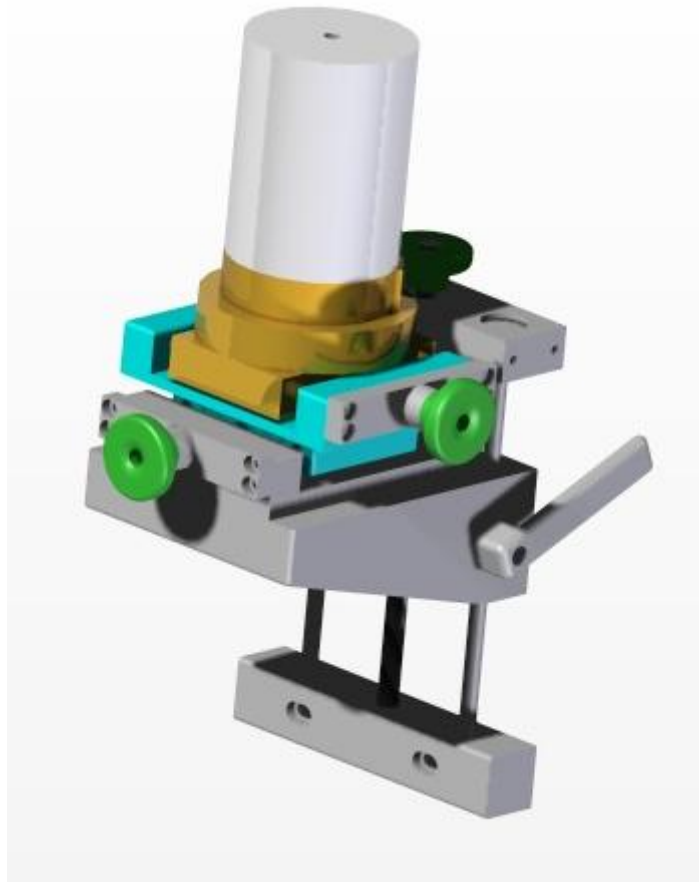


Figura 3.5.1: Conjunto ensamblado.

En la vista explosionada de conjunto, Fig. 3.5.2, pueden observarse las diferentes piezas que lo forman.

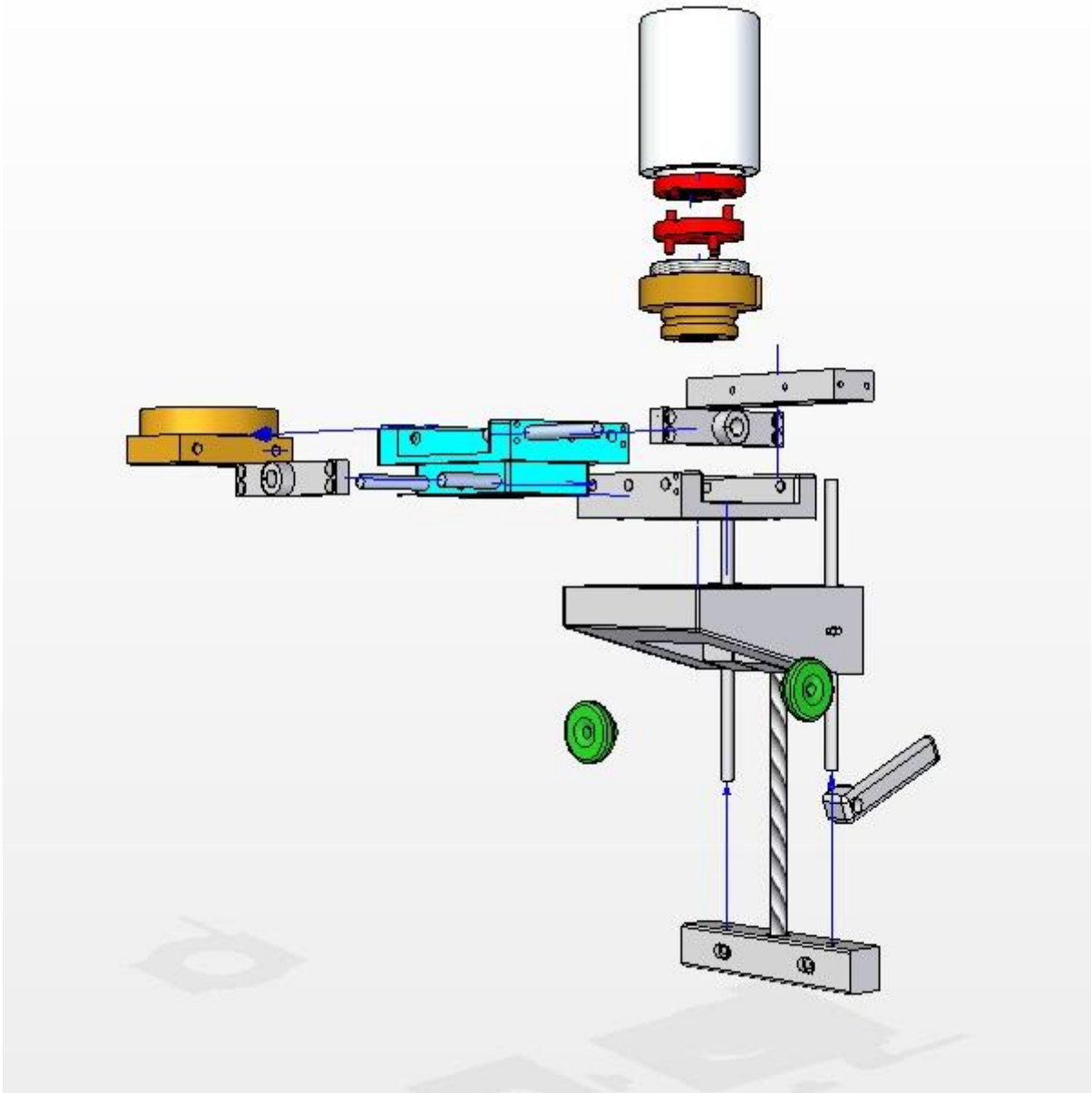


Figura 3.5.2: Conjunto explosionado.

3.6. Lista de materiales

Artículo	Descripción	Cantidad
Barra aluminio	$\varnothing 80mm.$	0,06 m
Tubo aluminio	$D = 80, d = 60mm$	0,08 m
Cojinetes	$DU^{TH} - B$	12
Varilla fibra de carbono	$\varnothing 0,6mm.$	1 m
Varilla fibra de carbono	$\varnothing 0,3mm.$	1 m
Piezoeléctrico(PZT)	$0,6 \times 5 \times 20mm.$	2
Piezoeléctrico(PZT)	$0,6 \times 3 \times 20 mm$	2
Borbotane	$200 \times 200 mm$	1
Varilla roscada	$M10 \times 1,5$	1 m
Varilla calibrada inox 8	$\varnothing 8mm.$	1,5 m
Conectores	T-10	1
Junta teflón	$\varnothing 80mm.$	1
Muelles inox	$D = 6, 5; d = 0, 9; n = 5; L_0 = 17, 13$	2
Muelles inox	$D = 10, 53; d = 1, 3; n = 15; L_0 = 52, 52$	2
Juntas toricas	$20 \times 1,5$	1
Juntas toricas	70×2	1
Prisioneros	$M3 \times 8$	10
Tornillos allen	$M5 \times 15$	12
Tornillos allen	$M6 \times 20$	6
Soportes en O antivibraciones	5518001	3

3.7. Lista de programas

Este proyecto ha hecho uso de los programas de cálculo del MIT [26] y de diseño mecánico SOLID EDGE [24].

El presente documento se ha escrito en L_AT_EX [25] y los documentos de formato pdf se han unido mediante PDF Split [23].

Bibliografía

- [1] S. Foner, *Rev. Sci. Instrum.*, **30**, 548 (1959).
- [2] H. Zijlstra *Rev. Sci. Instrum.* **41**, 1241 (1970).
- [3] P. J. Flanders, *J. Appl. Phys.*, **63**, 3940 (1988).
- [4] P. J. Flanders, *Rev. Sci. Instrum.*, **61**, 839 (1990).
- [5] C. Kittel. *Introduction to Solid State Physics* (1986).
- [6] N.W. Ashcroft y N.D. Mermin. *Solid State Physics* (1976)
- [7] G.A. Gibson y S. Schultz, *J. Appl. Phys.*, **69**, 5880 (1991)
- [8] M. Todoroviz and S. Schultz. *Appl. Phys.Lett.*, **73**, 3595 (1998).
- [9] *Piezoelectric Ceramics*, catálogo de Morgan ElectroCeramics (2007)
- [10] Q-M. Wang, X.-H. Du, B. Xu y L.E. Cross, *J. Appl. Phys.*, **85**, 1702 (1999).
- [11] Catálogo conectores ICP (2010)
- [12] R.P. Feynman, R. Leighton y E. Sands. *Lectures on physics*. Ed. MacGraw-Hill, 1966.
- [13] Catálogo Epidor. Deslizamiento 2010.
- [14] Salvador Velayos. *Temas de Física III* (1980).
- [15] Catálogo Hoseco (Juntas Tóricas).
- [16] Catálogo Telstar (Bombas vacío).
- [17] Catálogo Formiga P100 (2009) EOS Magnufacturing solutions.
- [18] M. Tinkham. *Superconductivity*. Editorial McGraw-Hill.
- [19] B.D. Cullity. *Introduction to magnetic materials*. Addison-Wesley, 1972.
- [20] A. Rosales-Rivera, J.A. Restrepo, M.A. Sanin, O.E. Patiño. *Revista Colombiana de física*, **38**, 77 (2006).
- [21] Ricardo Rivas. *Ergonomía en el diseño y la producción industrial*, 1^a edición, 2007
- [22] Norma DIN 33 402, 2^a parte
- [23] PDF Split and Merge basic Ver.2.2.1 (2010)

[24] Solid edge V18.00.00.69 (2005)

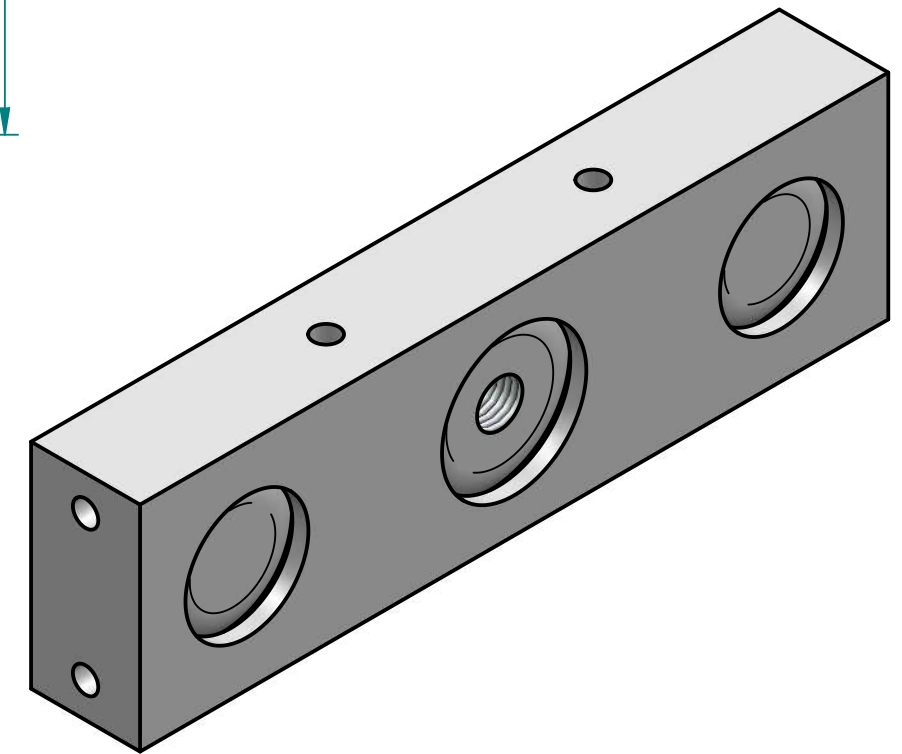
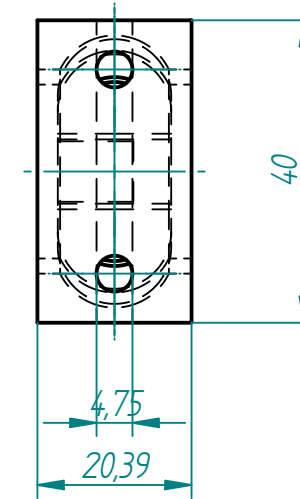
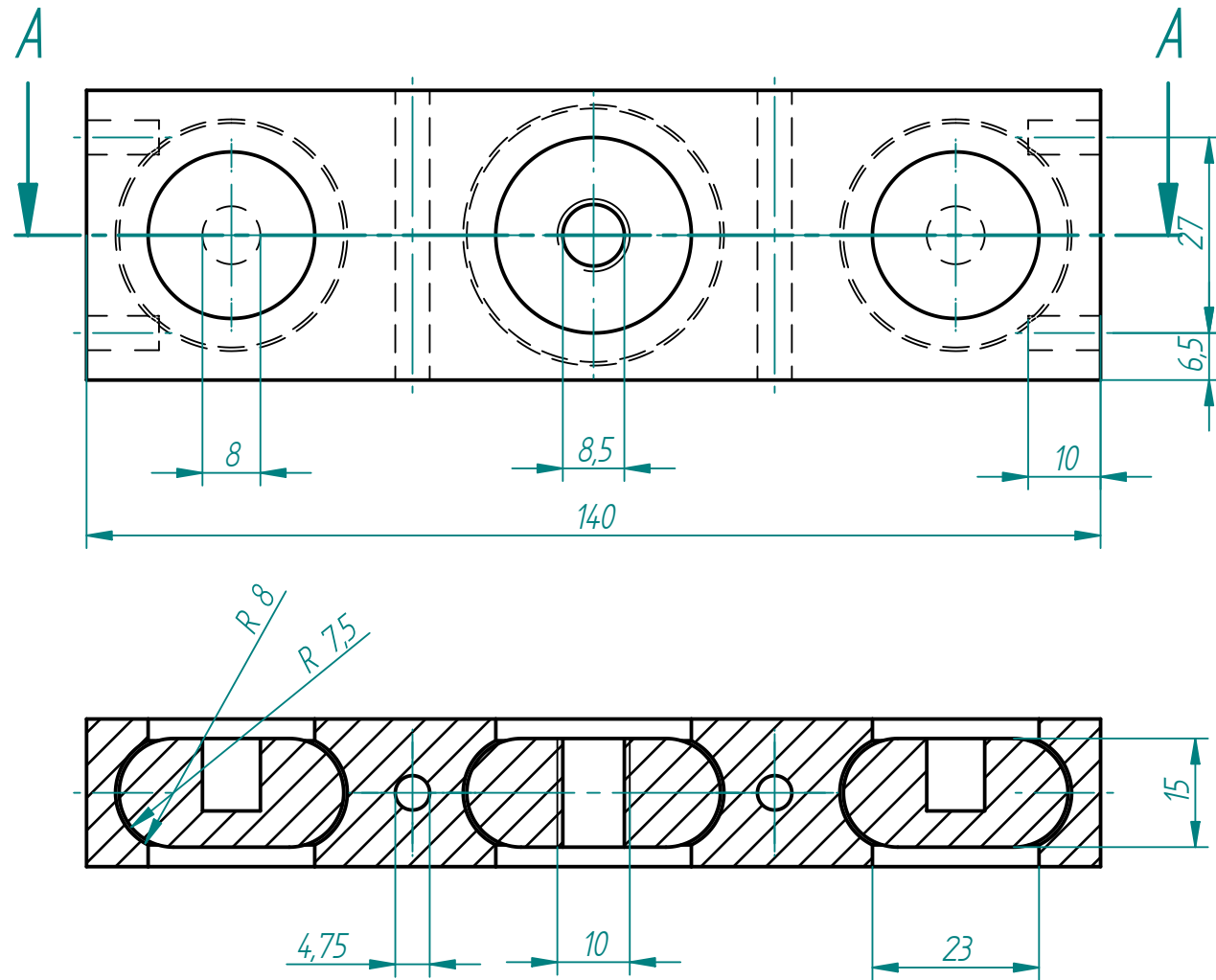
[25] Lyx 1.6.8 (2010). LyX es Copyright (C) 1995 por Matthias Ettrich.

[26] MITCalc (2010), Mechanical, Industrial and Technical Calculation.

Capítulo 4

Anexo I (Planos)

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



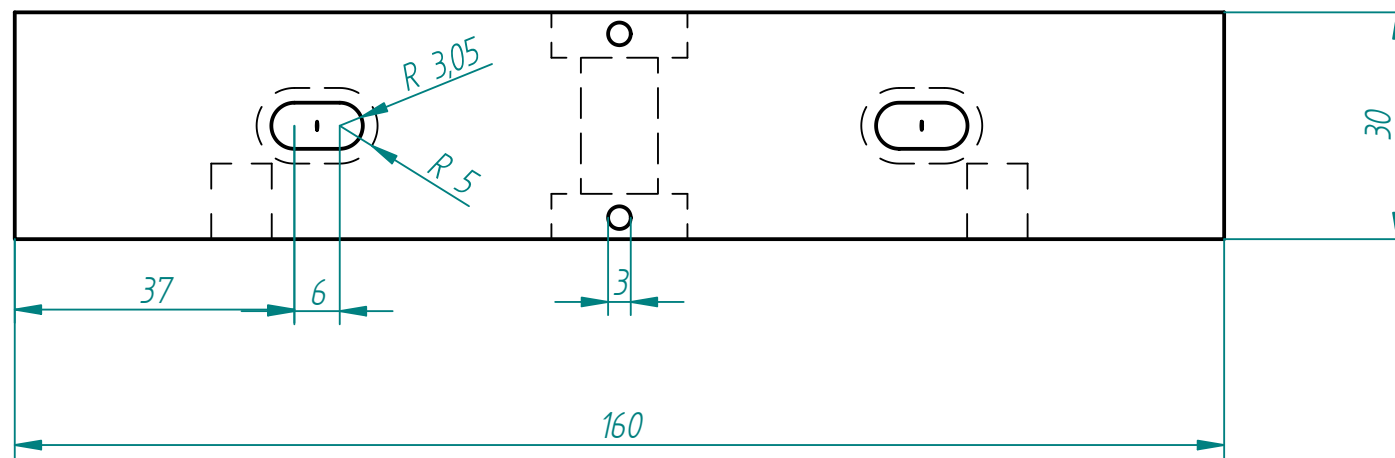
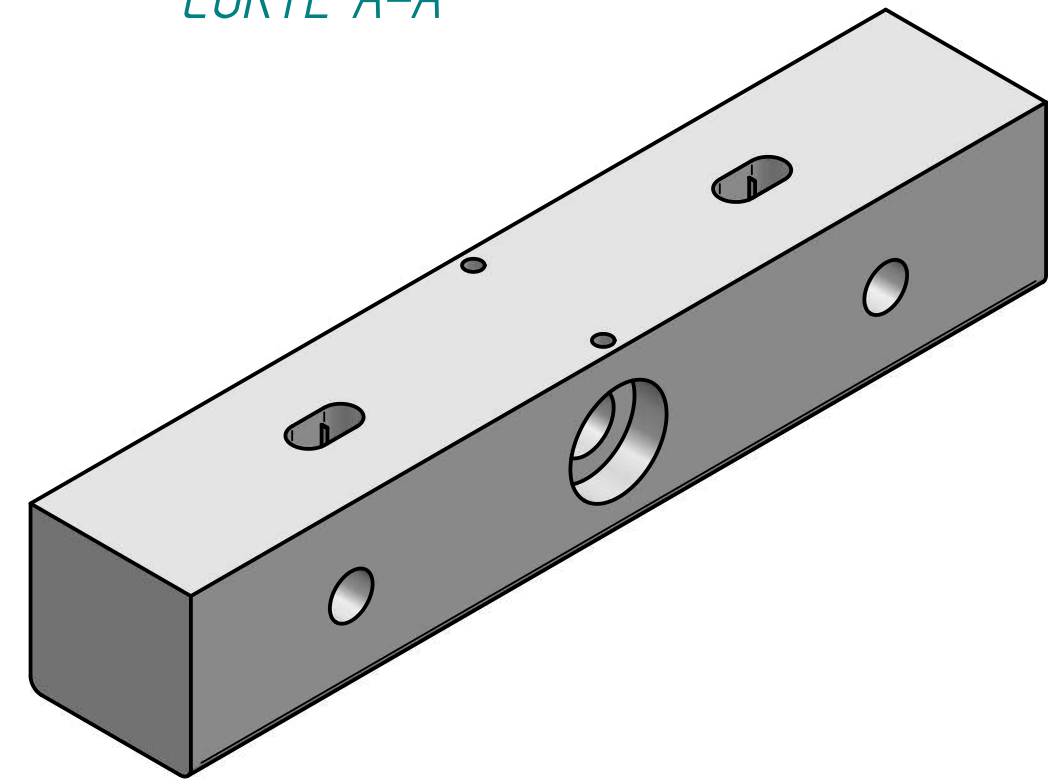
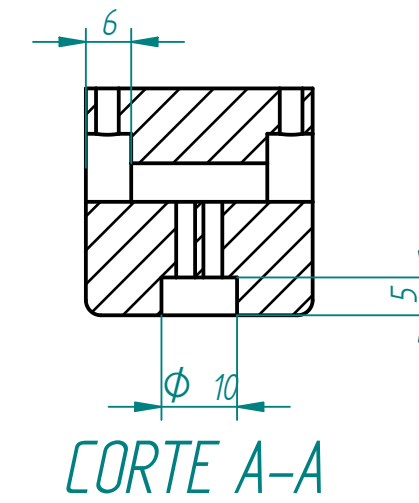
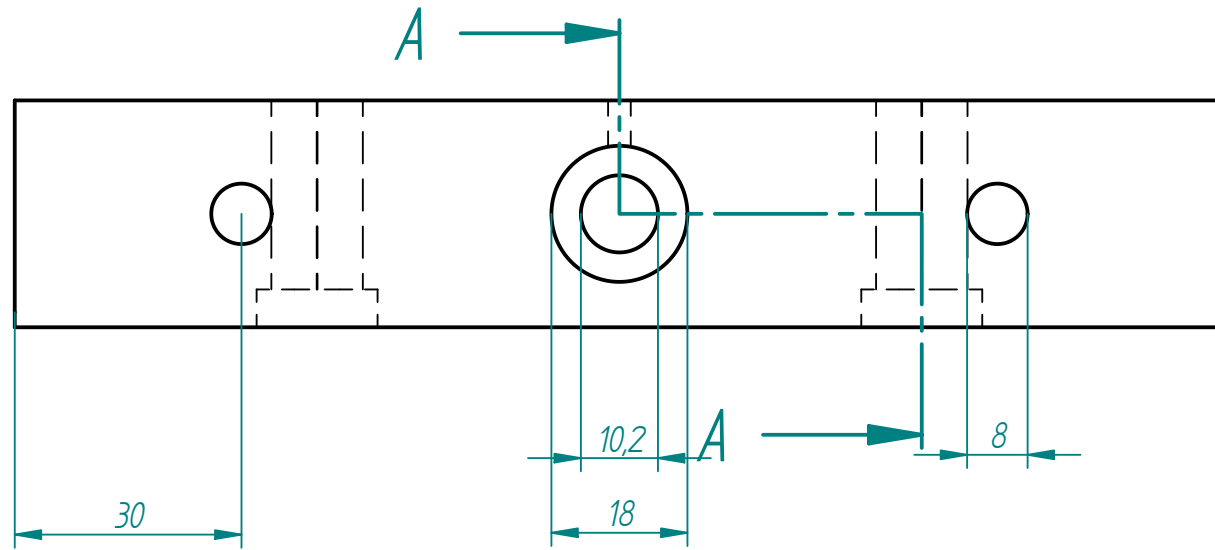
CORTE A-A

Realizar pieza en prototipadora (rotulas interiores)



Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

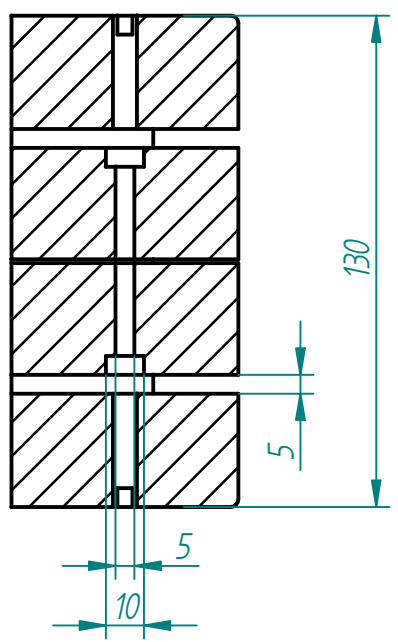
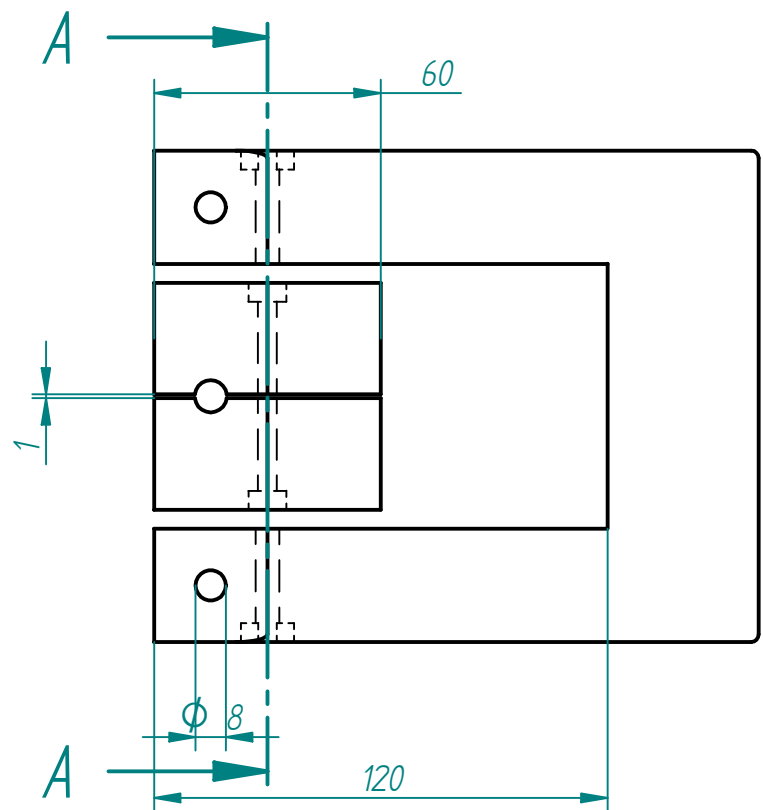
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA
	PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)	REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA FIRMA:
PLANO: Soporte Z1	FECHA: 10/02/11	ESCALA: 1:1
		Nº PLANO:

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

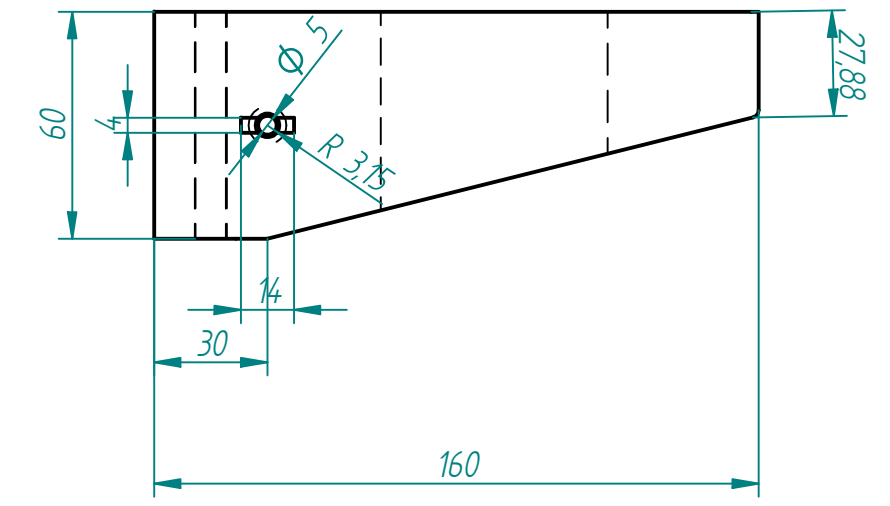


Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

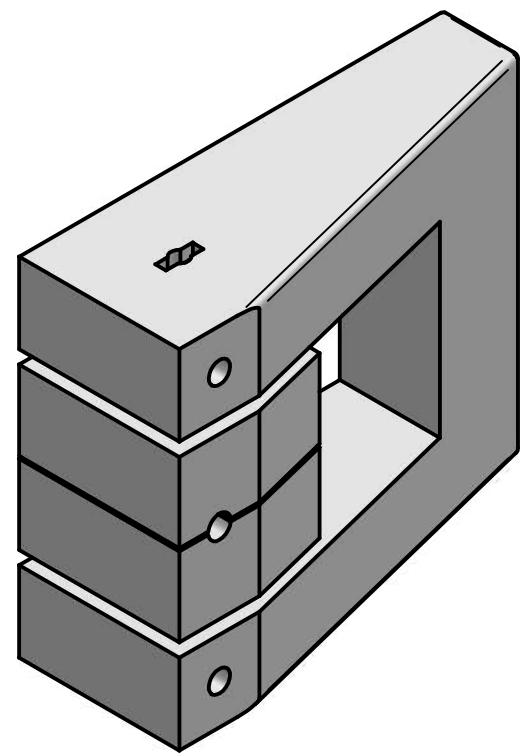
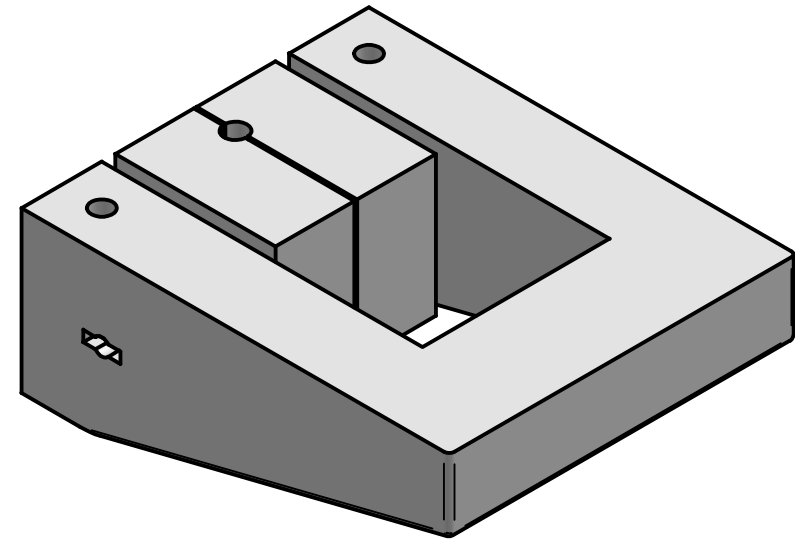
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO DE FISICA		
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA		
PLANO: Soporte Z2		FIRMA:		
FECHA: 10/02/11		ESCALA: 	Nº PLANO:	




CORTE A-A



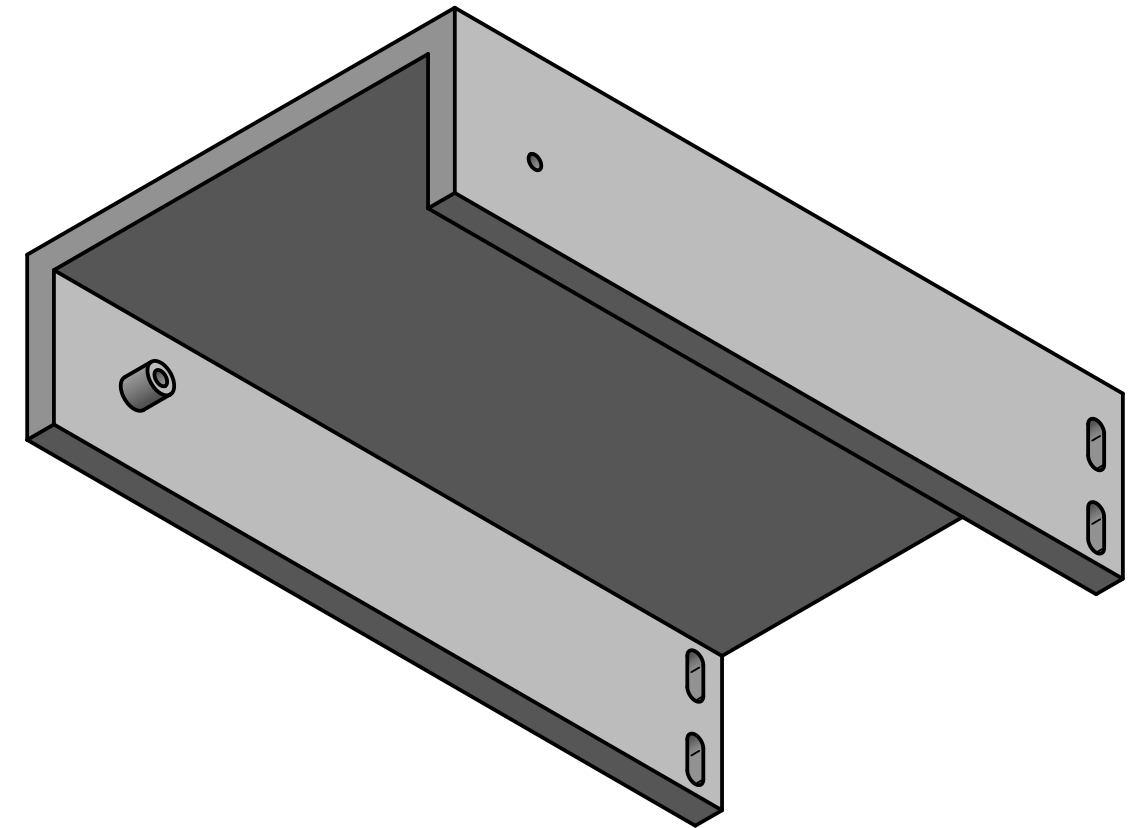
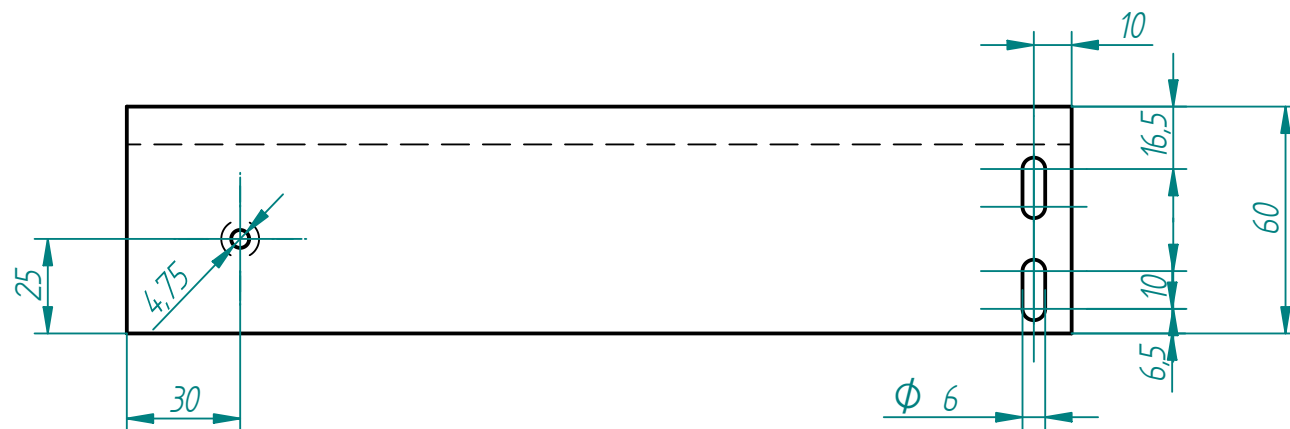
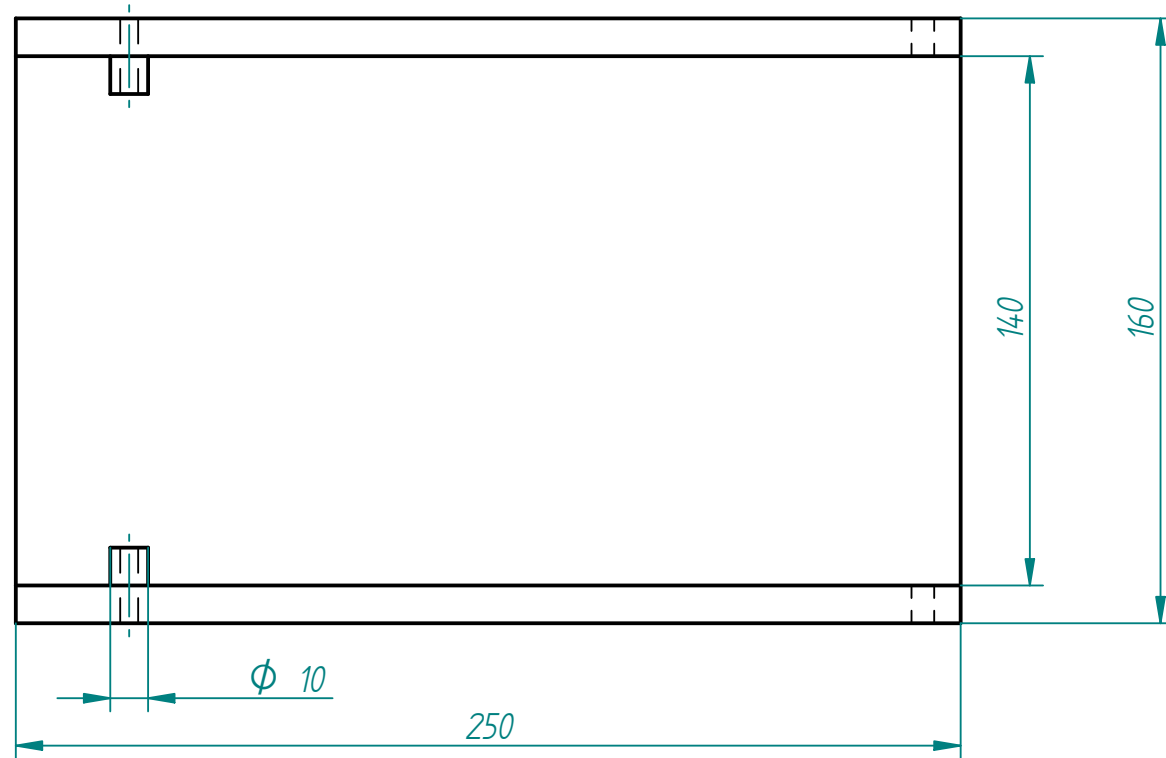
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado




Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA		
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)	FIRMA:		FECHA: 10/02/11	
PLANO: Sporte Z3	ESCALA: 1:2	Nº PLANO:		

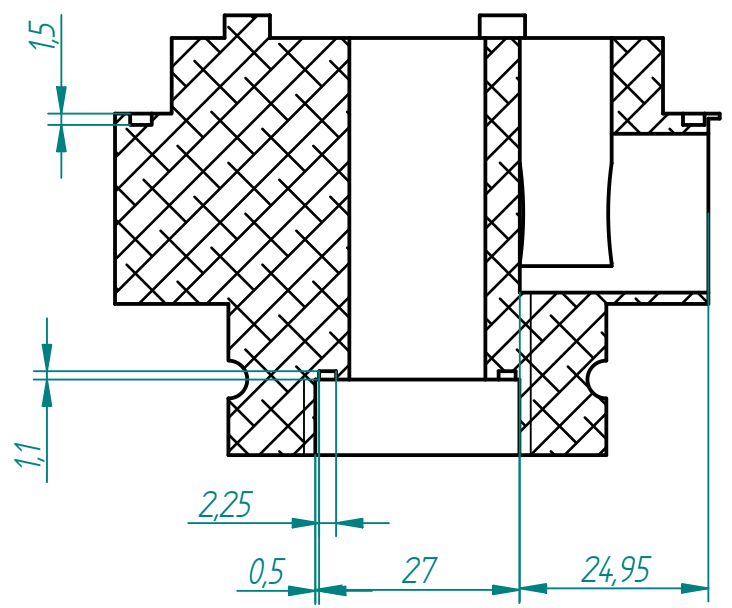
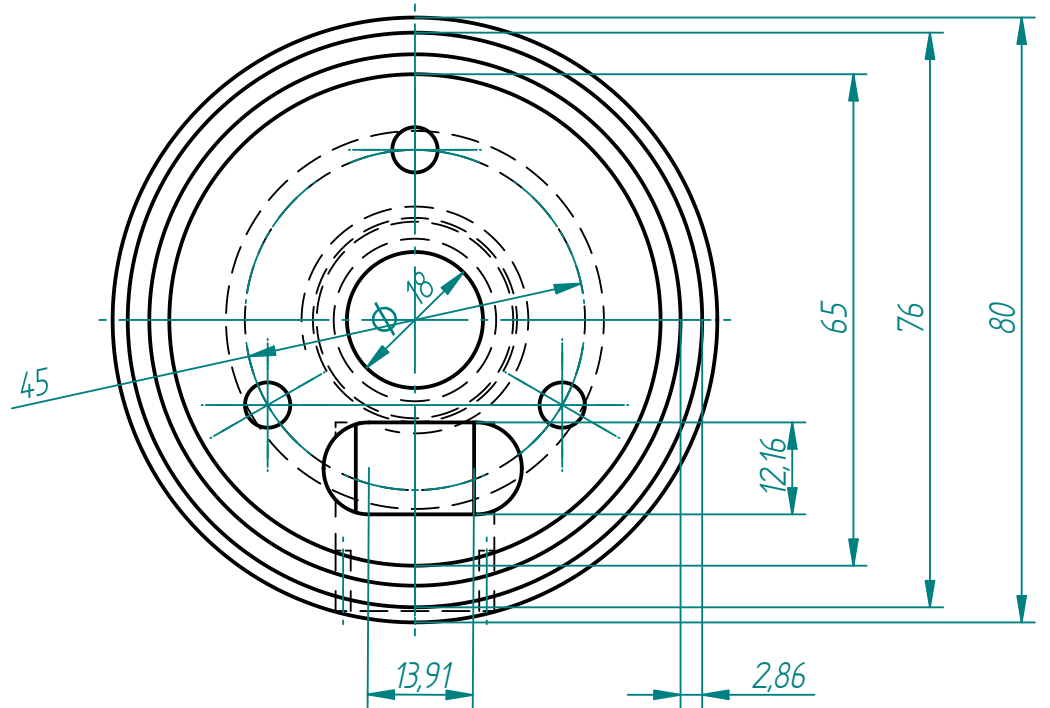
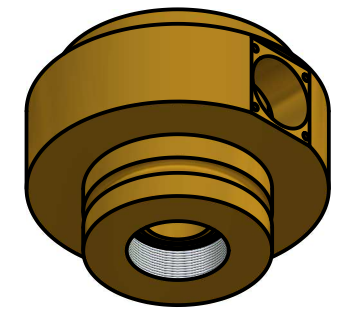
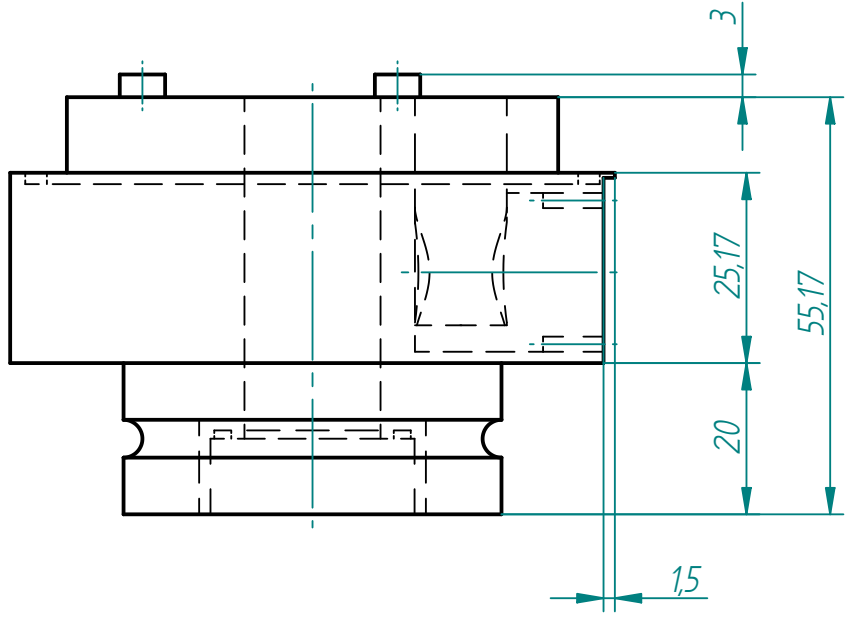
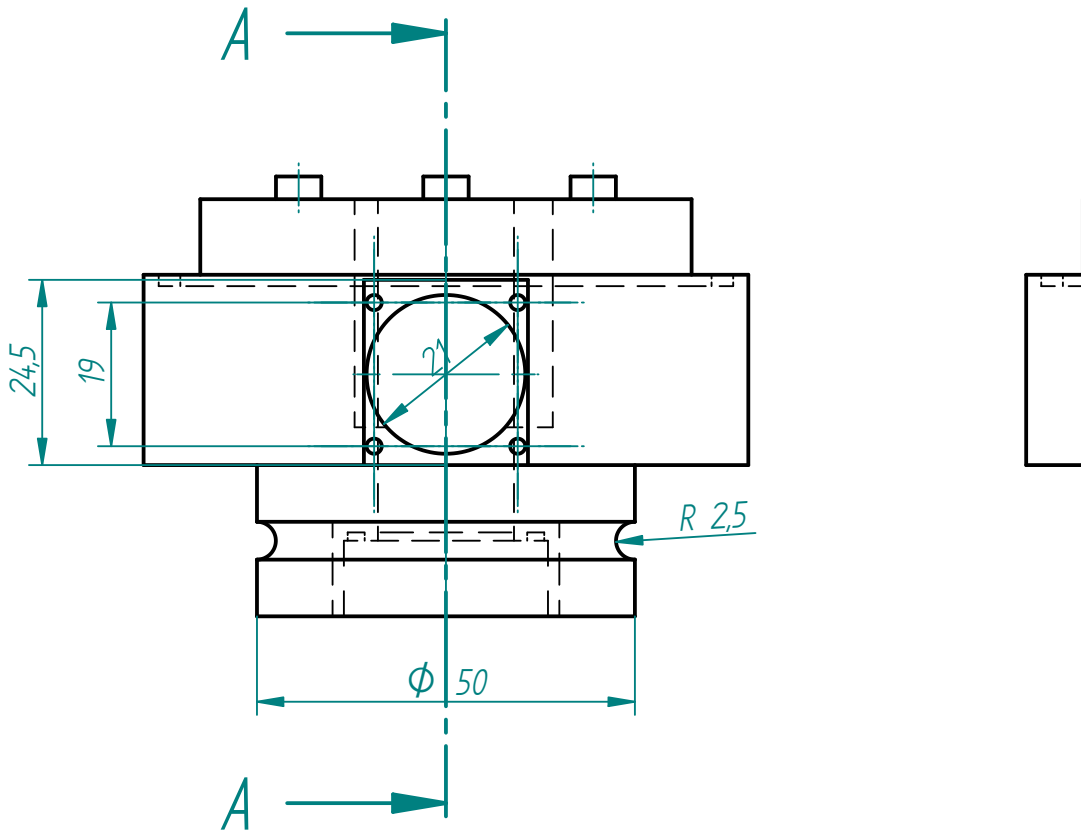
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



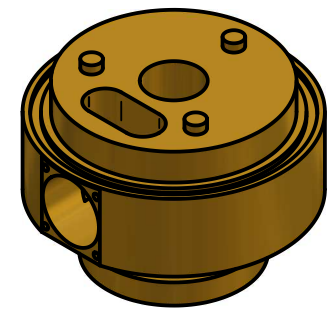
Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA	
PLANO: Soporte princpal		FIRMA:	FECHA: 10/02/11
		ESCALA: 1:2	Nº PLANO:

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



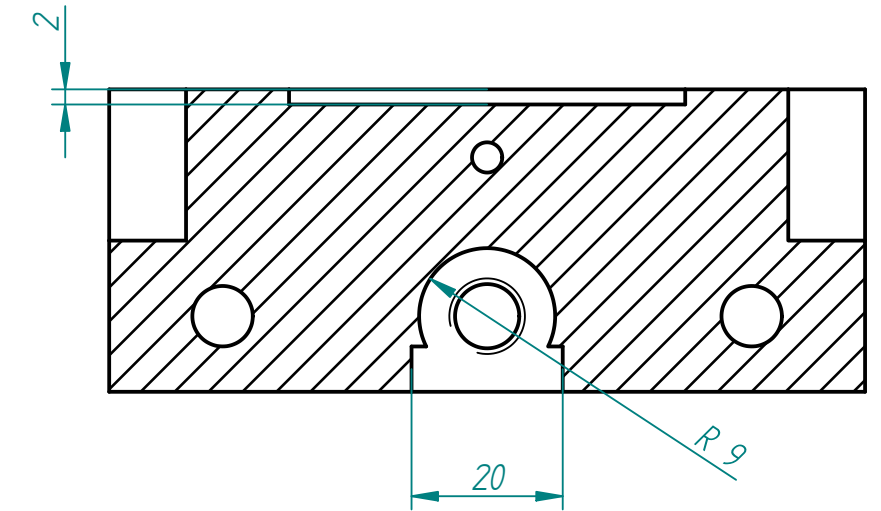
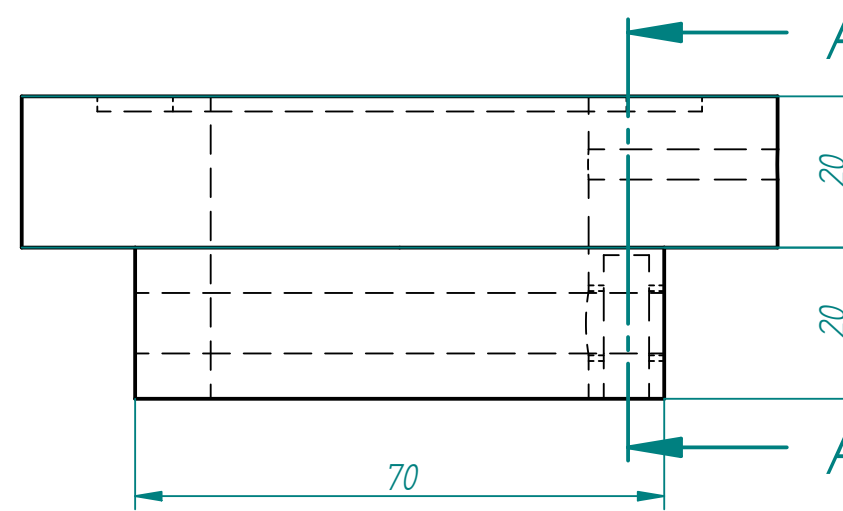
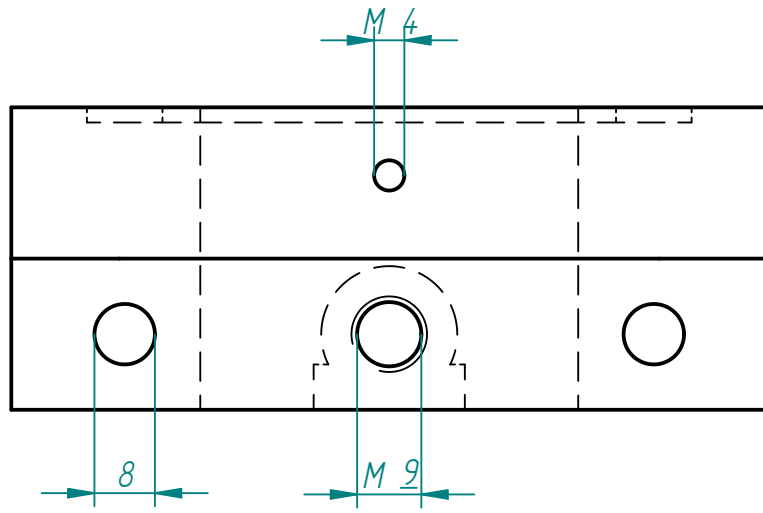
CORTE A-A



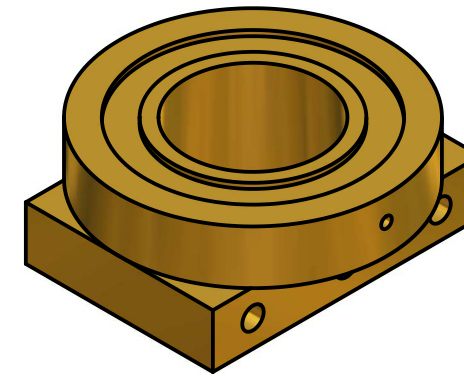
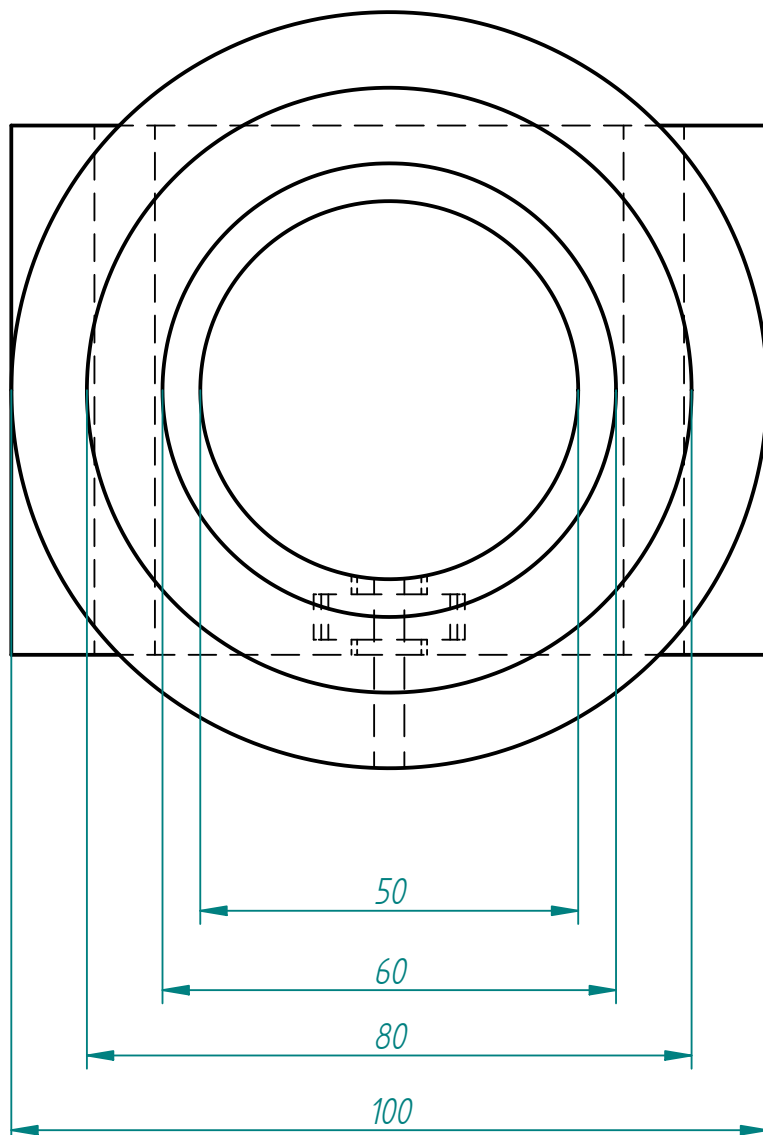
Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO O: DEPARTAMENTO DE FISICA	
	PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)	REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA	FIRMA:
PLANO: Base	FECHA: 10/02/11	ESCALA: 1:1	Nº PLANO:


Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

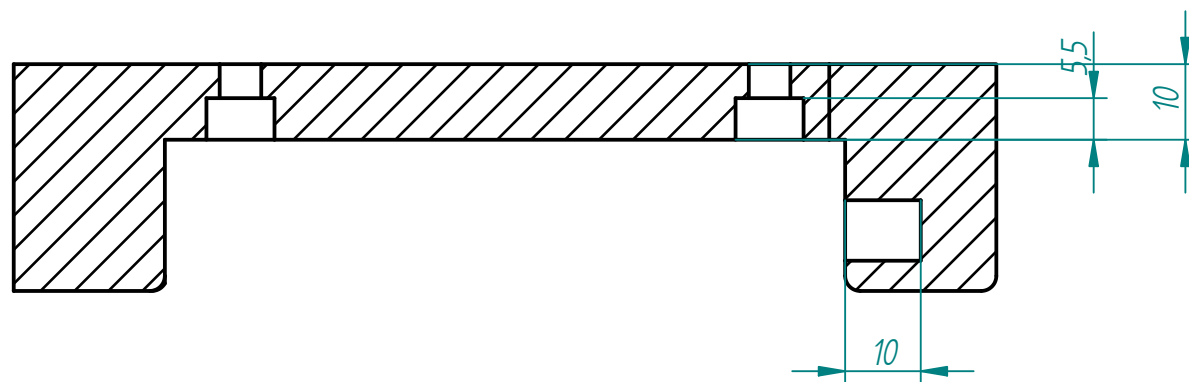
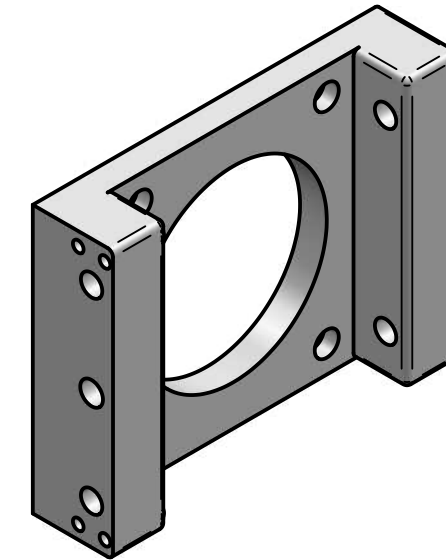
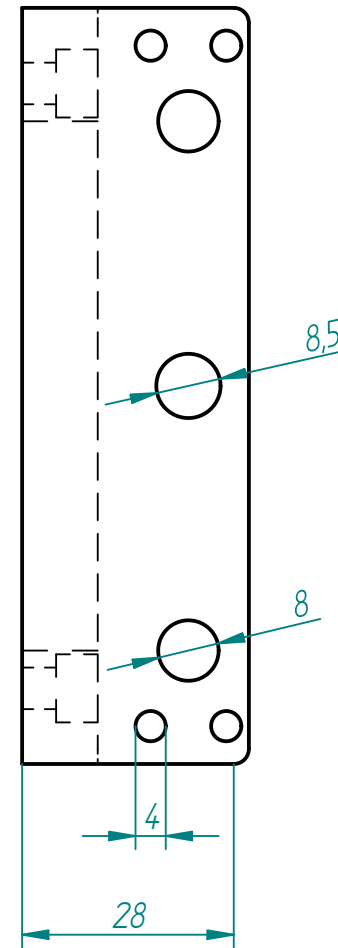
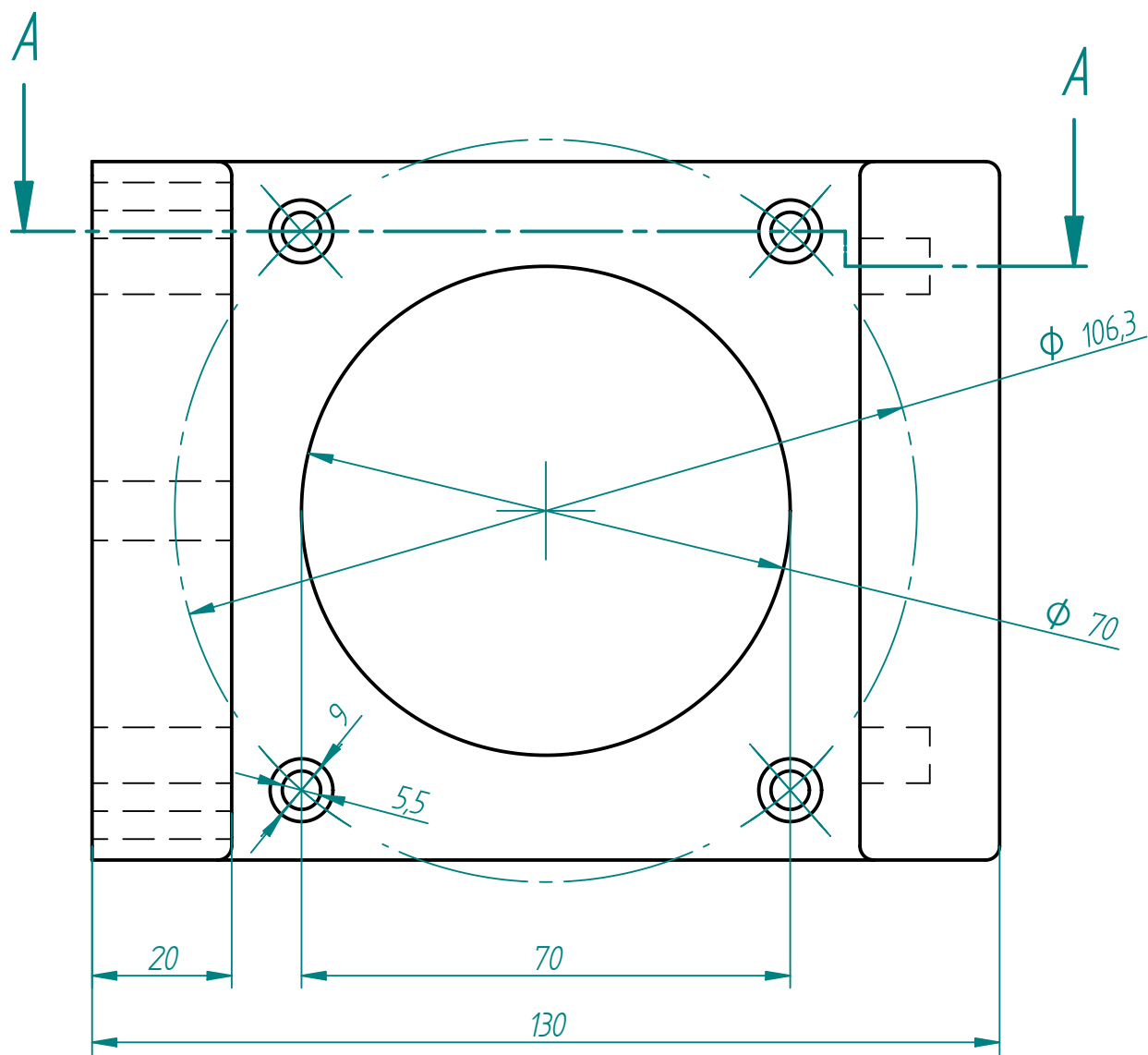


CORTE A-A



Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO DE FISICA		
PROYECTO: MAGNETOMETRO(AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA		
PLANO: Soporte base		FIRMA:		
FECHA: 10/02/11		ESCALA: 1:1	Nº PLANO:	



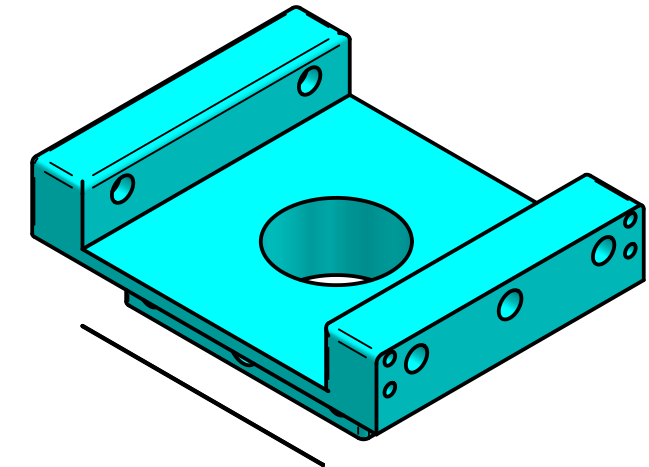
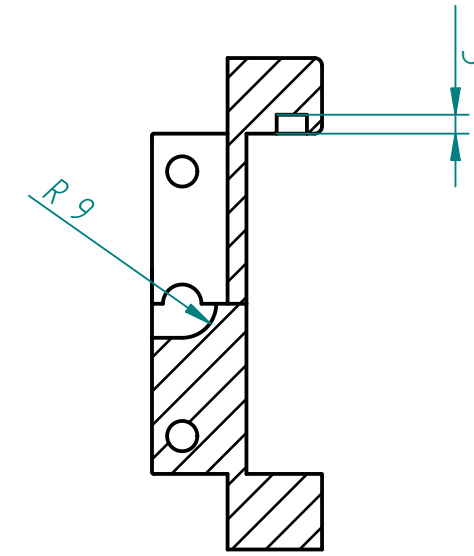
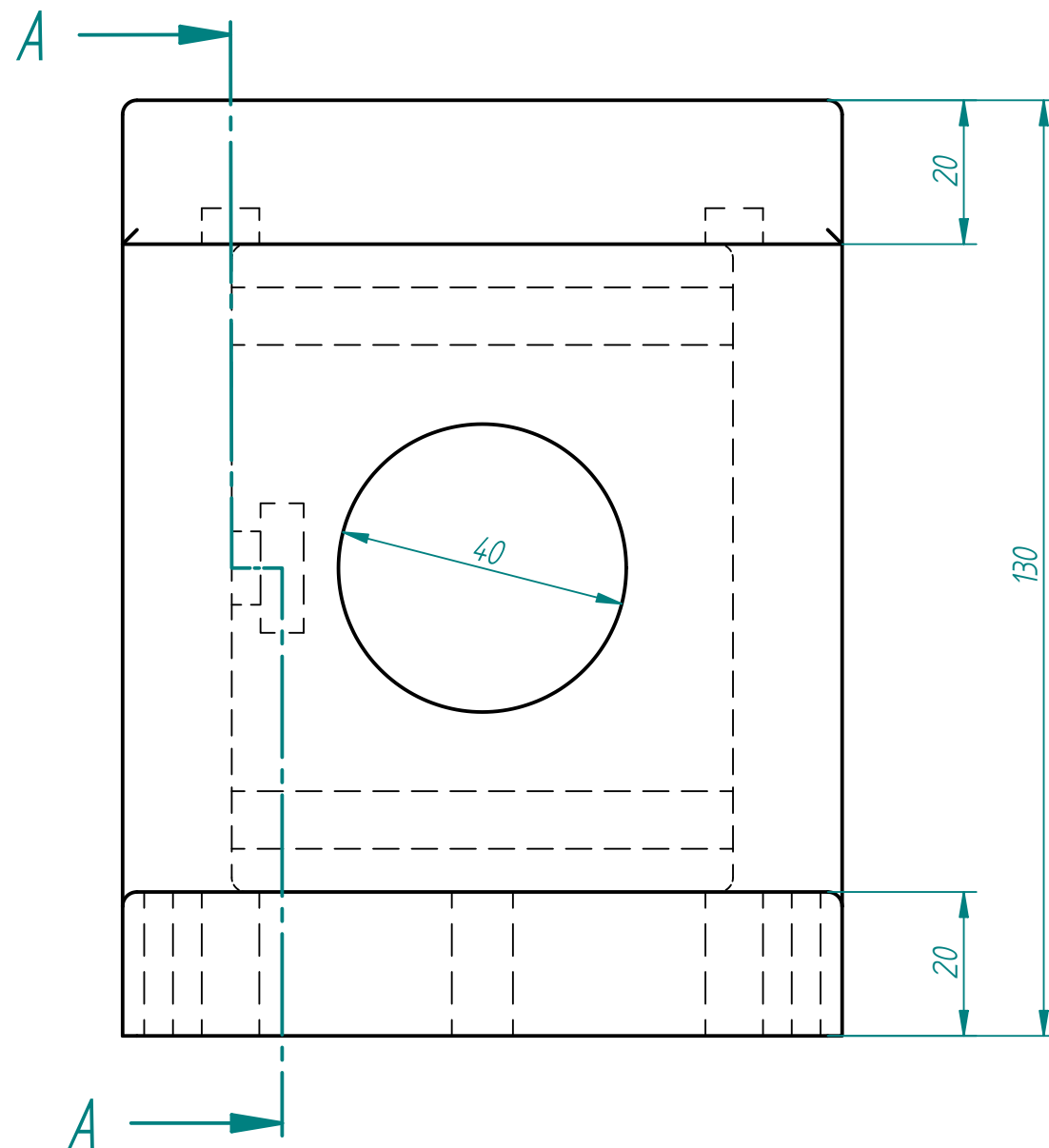
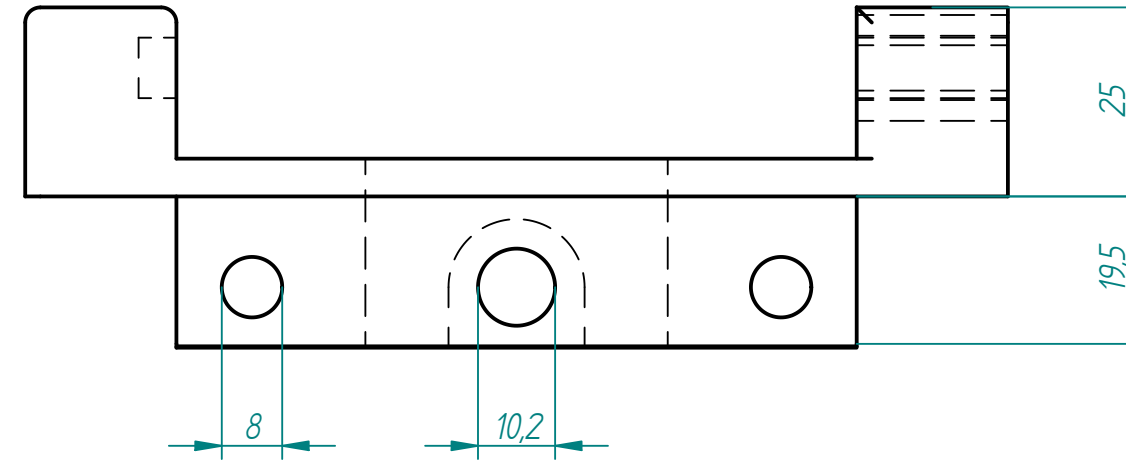
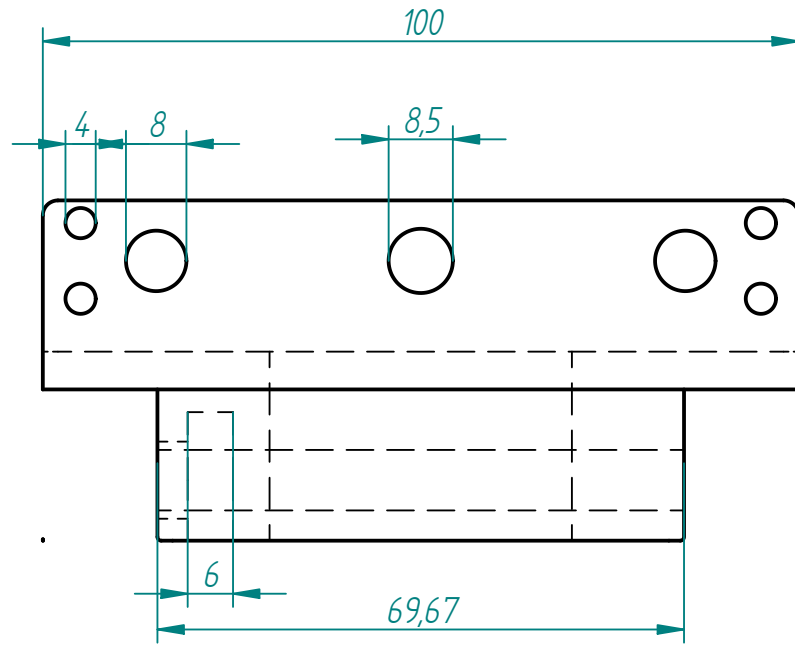
CORTE A-A

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°


 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA
	PROYECTO: MAGNETOMETRO(AGM)	REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA
PLANO: Soporte X	FIRMA:	FECHA: 10/02/11
ESCALA: 1:1	Nº PLANO:	

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

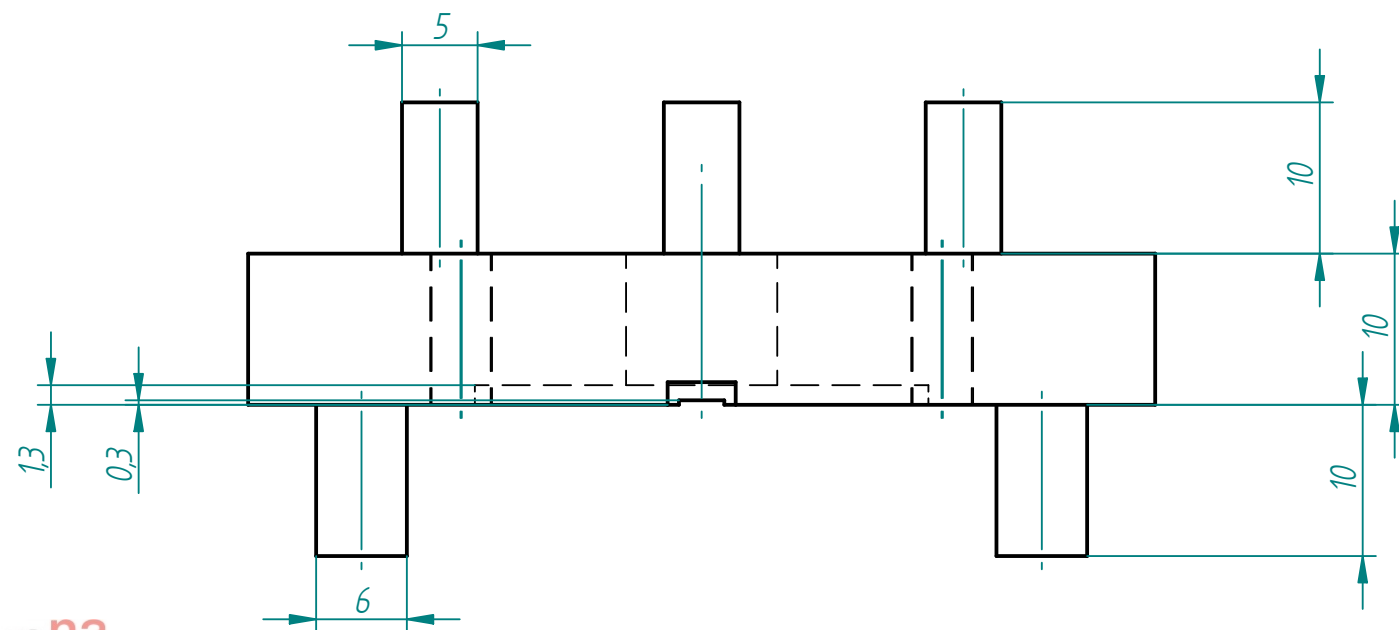
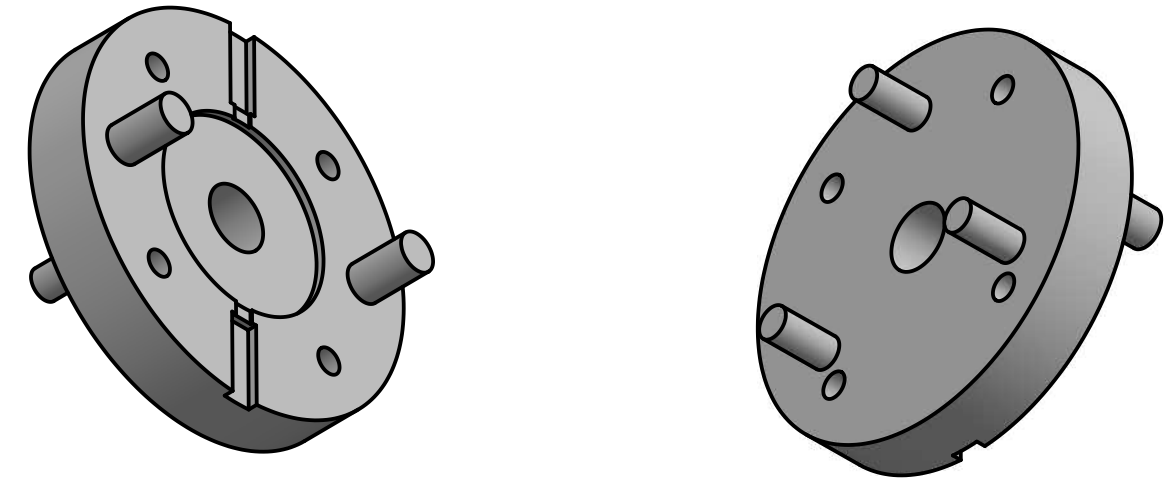
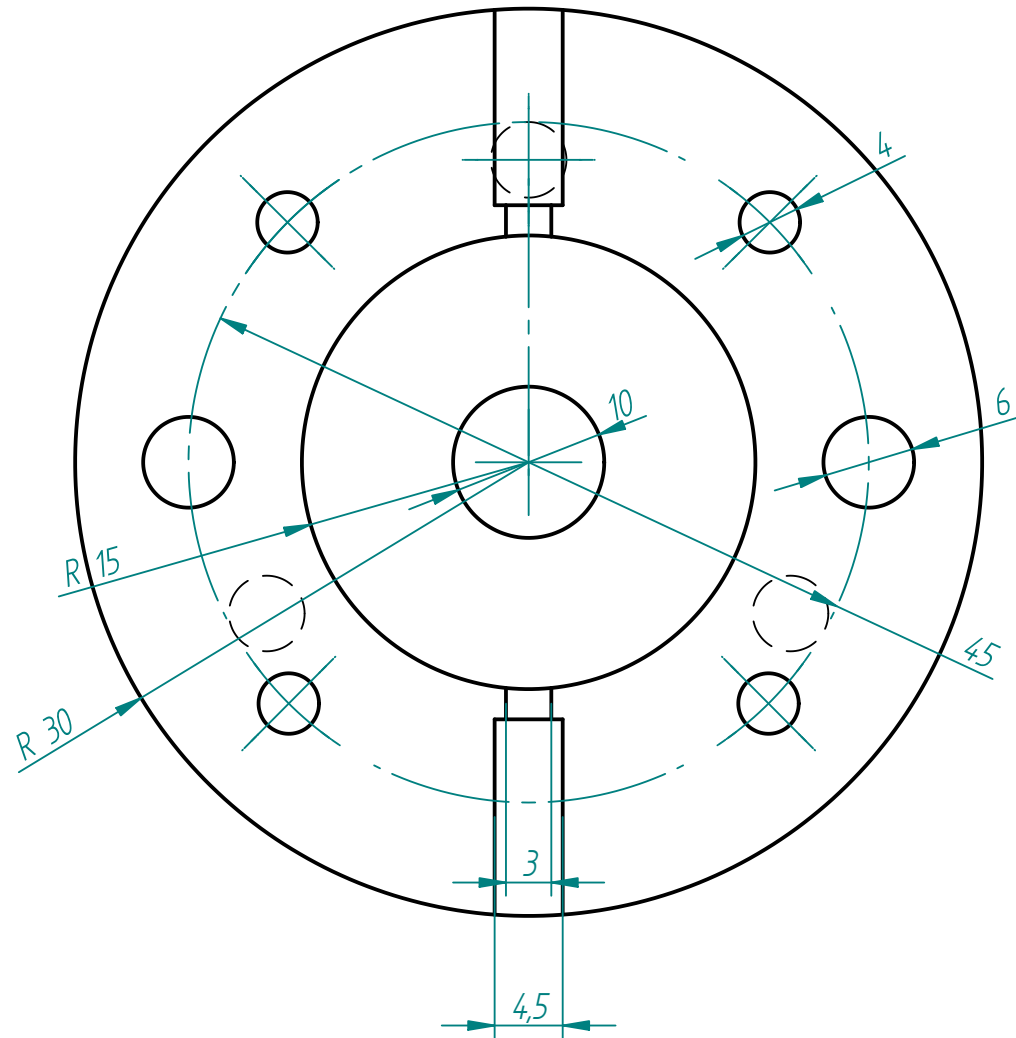


CORTE A-A


Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO DE FISICA
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA
PLANO: Soporte X Y		FIRMA:
FECHA: 10/02/11	ESCALA: 1:1	Nº PLANO:

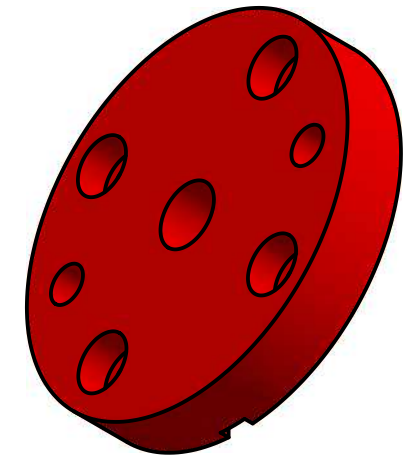
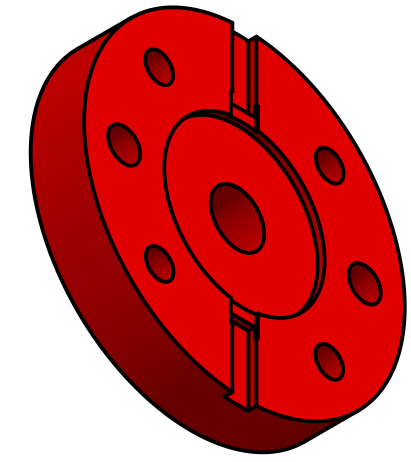
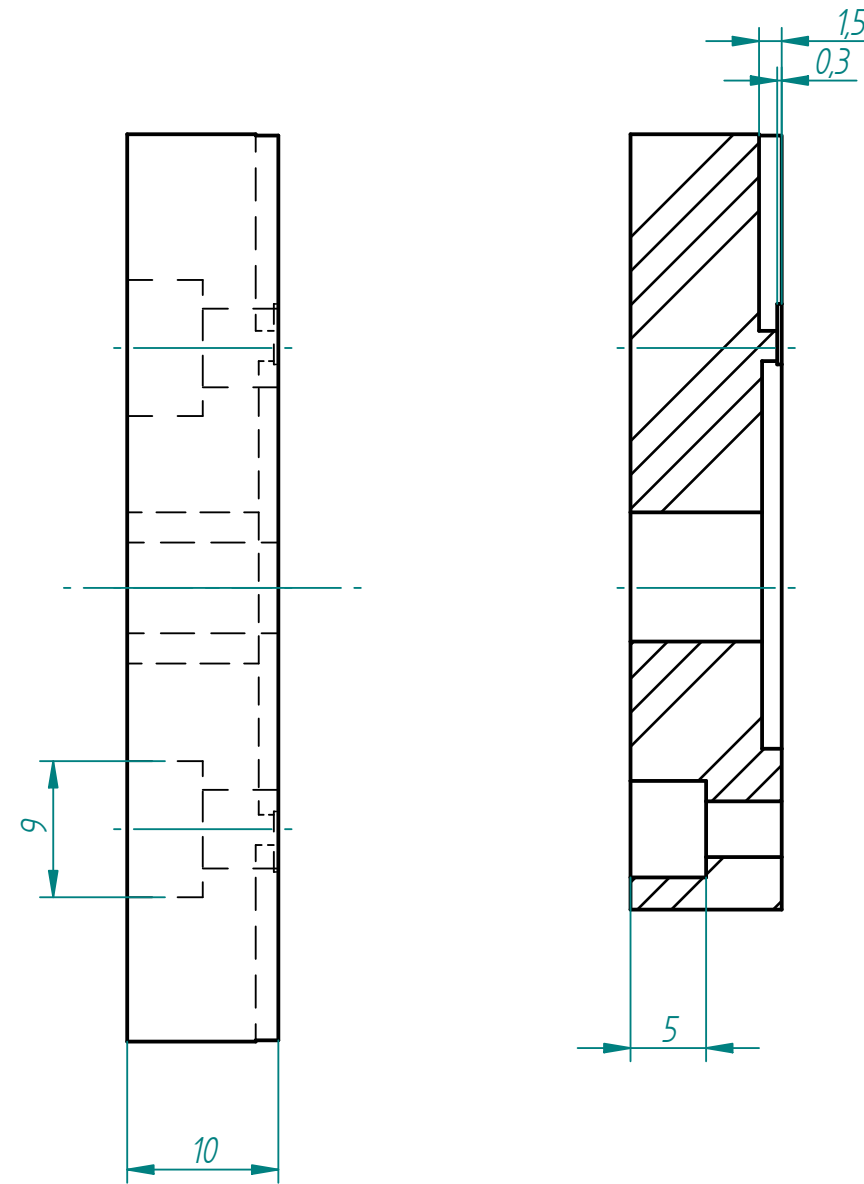
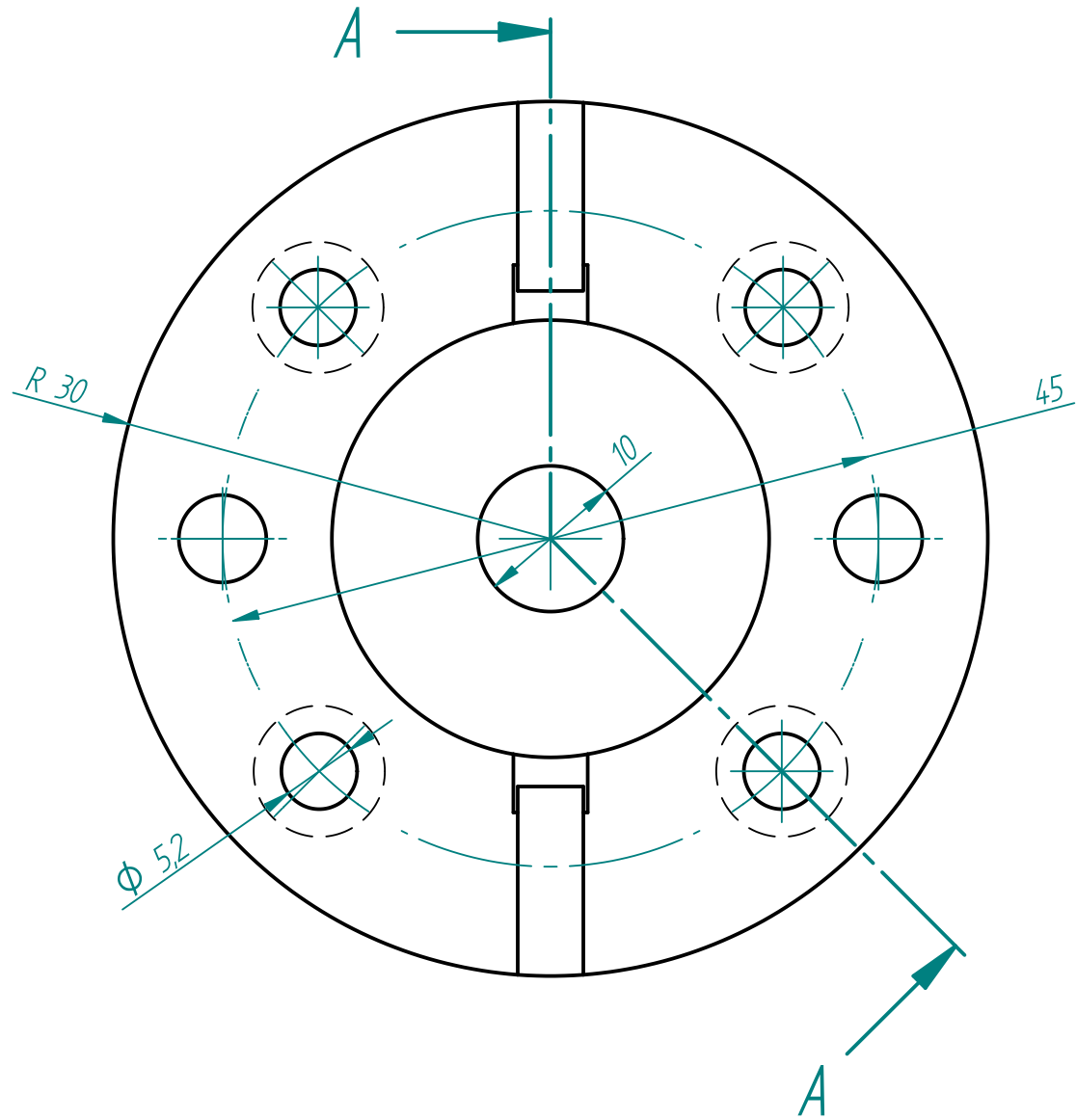
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado




Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO DE FISICA
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA
PLANO: Soporte bajo PZT 3		FIRMA:
FECHA: 10/02/11	ESCALA: 2:1	Nº PLANO:

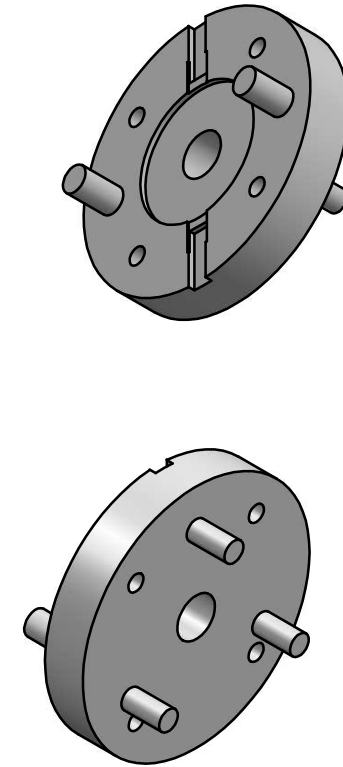
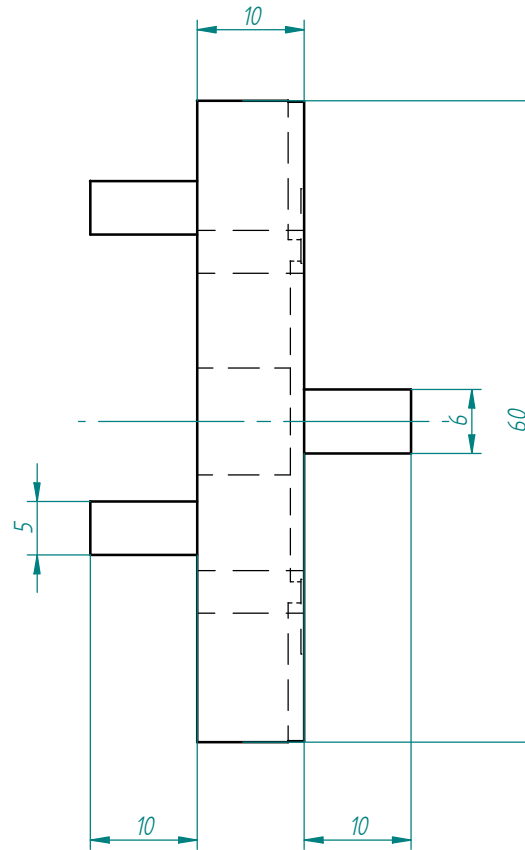
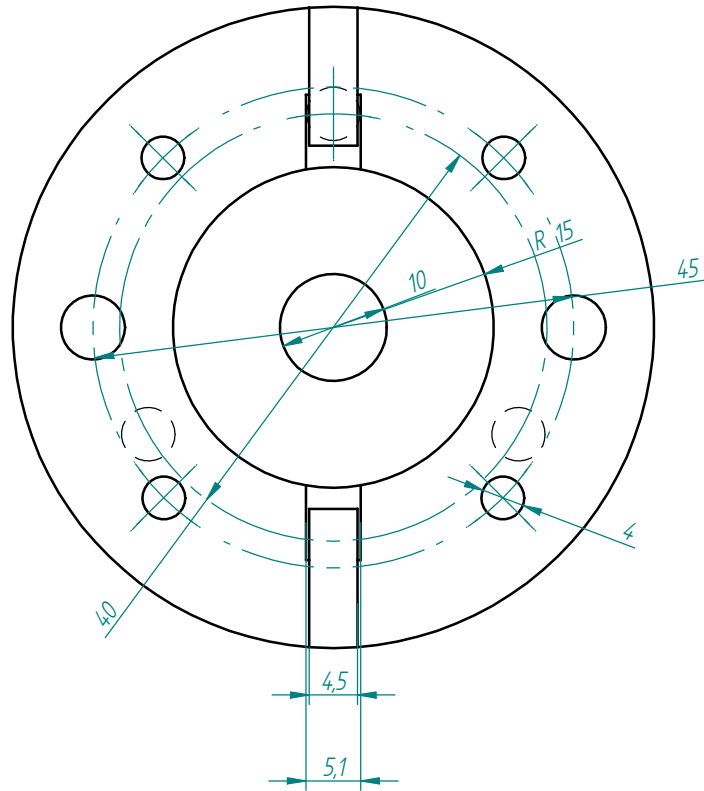
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado




Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO O:		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO DE FISICA		
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA		
PLANO: Soporte PZT 5		FIRMA:		
FECHA: 10/02/11		ESCALA: 2:1	Nº PLANO:	

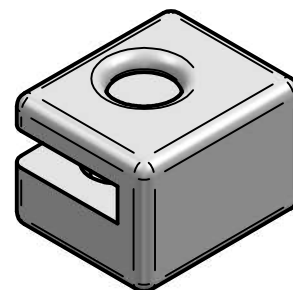
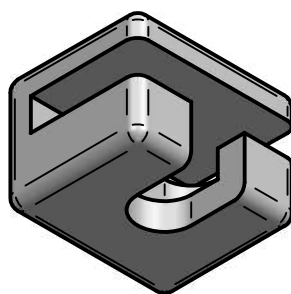
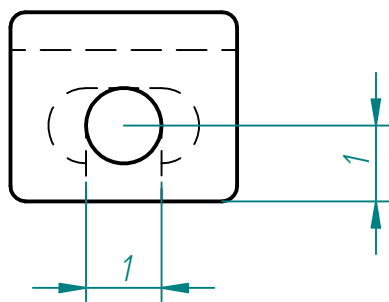
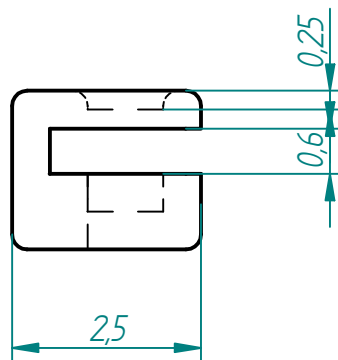
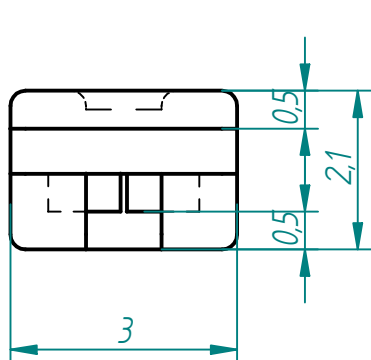
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado




Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA
	PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)	REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA FIRMA:
PLANO: Soporte bajo PZT 5	FECHA: 10/02/11	ESCALA: 2:1
		Nº PLANO:

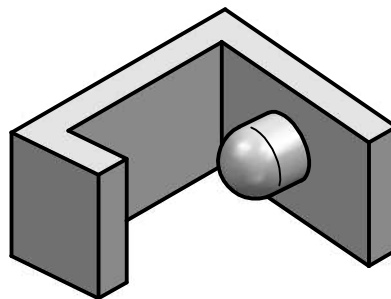
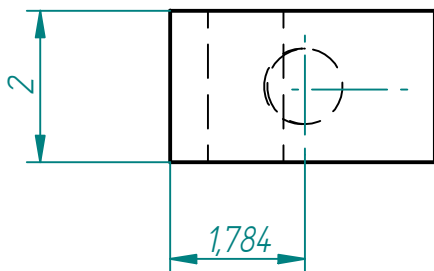
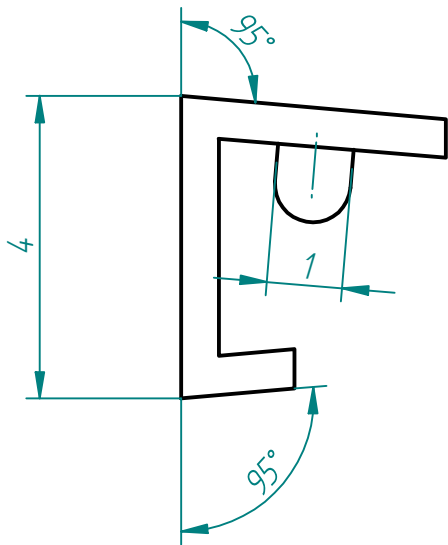
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado






Salvo indicación contraria cotas milímetros, angulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO DE FISICA		
PROYECTO: MAGNETOMETRO(AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA		
		FIRMA:		
PLANO: Portamuestras	FECHA: 10/02/11	ESCALA: 10:1	Nº PLANO:	

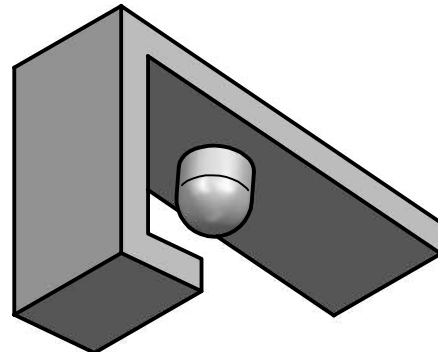
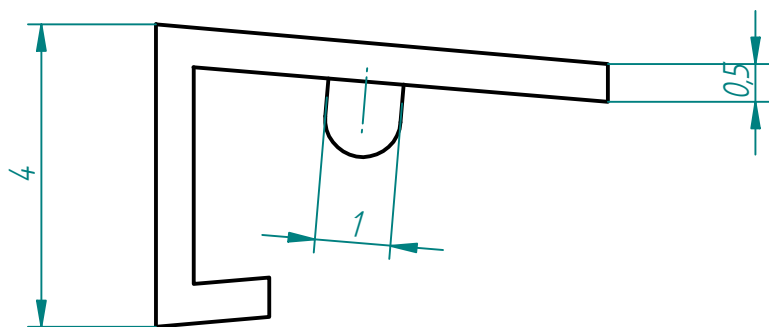
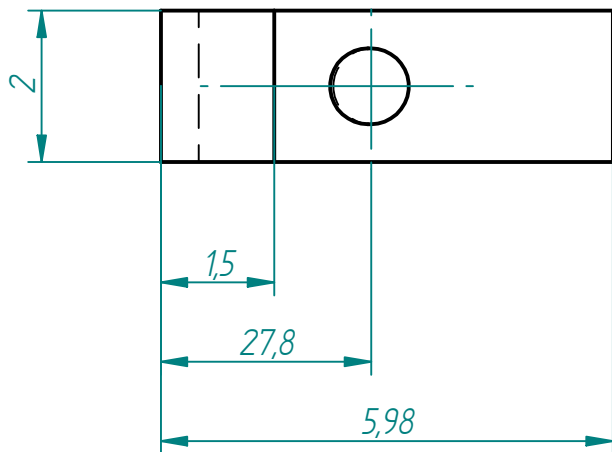
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado






Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO DE FISICA		
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUESANA FIRMA:		
PLANO: 	FECHA: 10/02/11	ESCALA: 	Nº PLANO:	

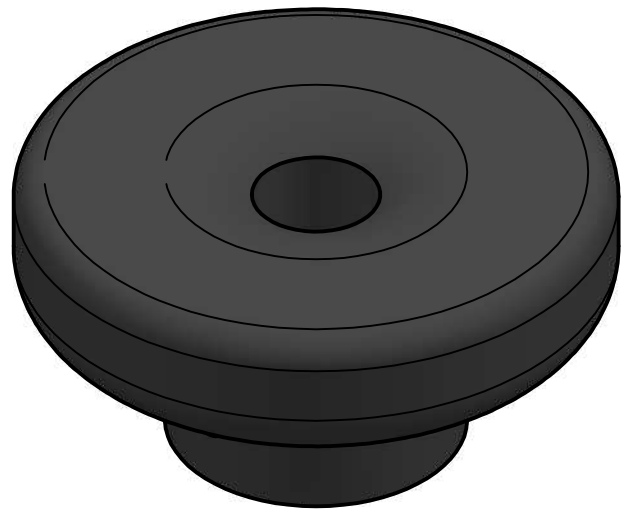
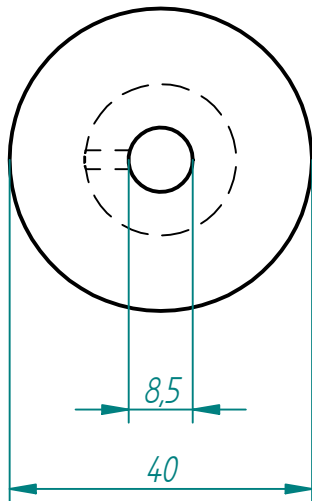
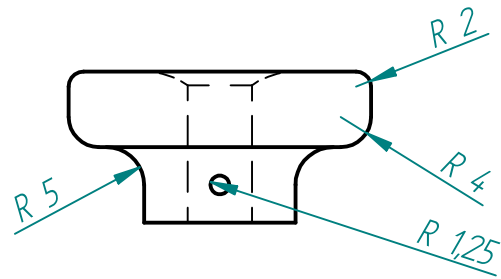
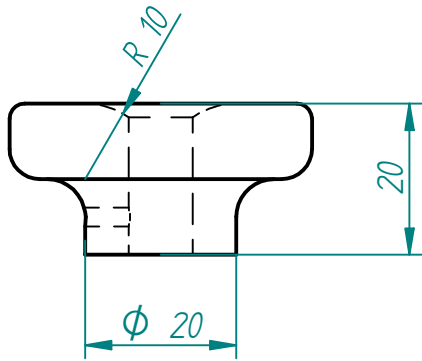
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado




Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias $\pm 0.2\text{mm}$. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO DE FISICA		
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUESANA		
PLANO: 		FIRMA:	FECHA: 10/02/11	ESCALA: 10:1
		Nº PLANO:		

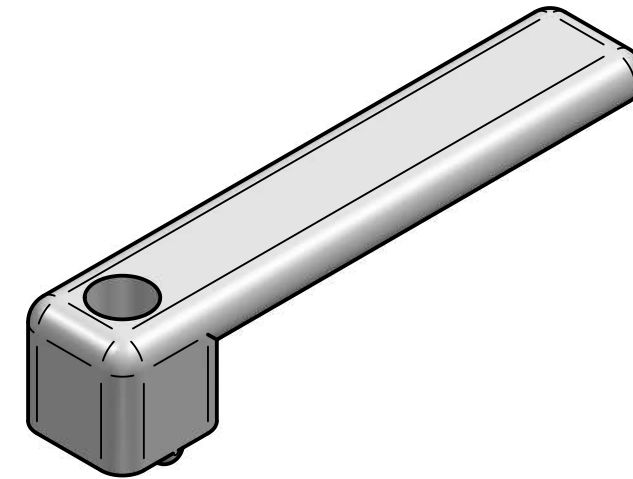
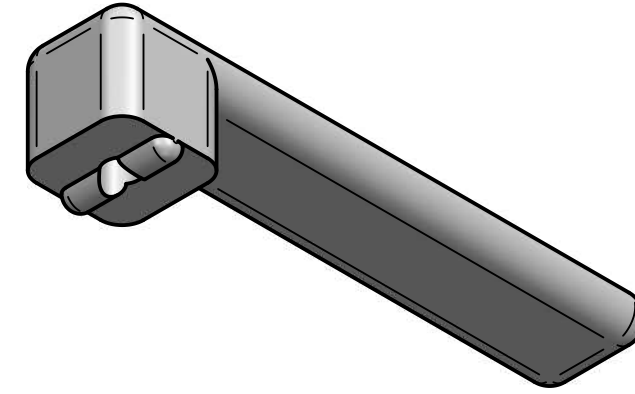
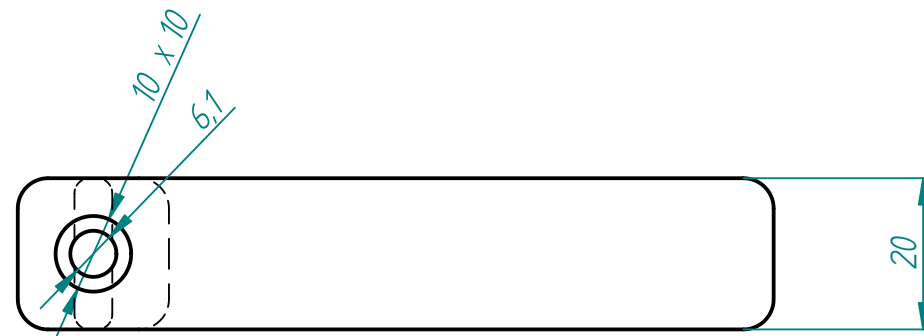
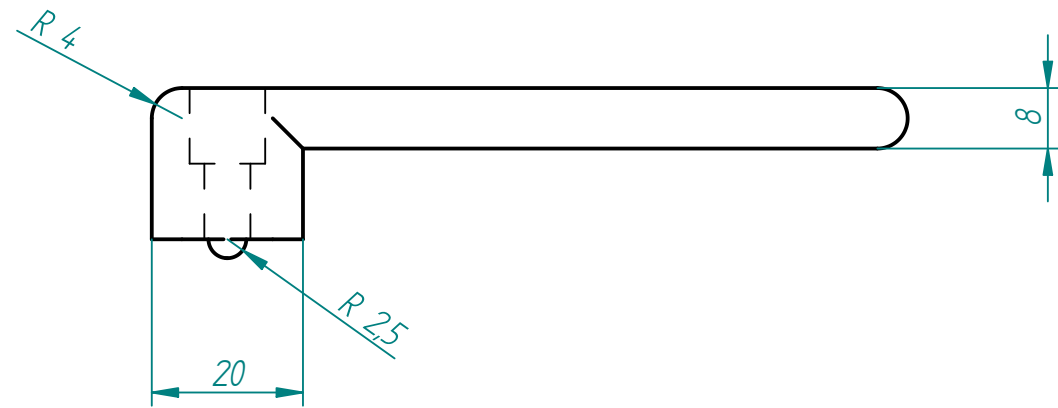
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Salvo indicación contraria cotas milímetros, angulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO DE FISICA		
PROYECTO: MAGNETOMETRO(AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA		
		FIRMA:		
PLANO: Manivela	FECHA: 10/02/11	ESCALA: 1:1	Nº PLANO:	

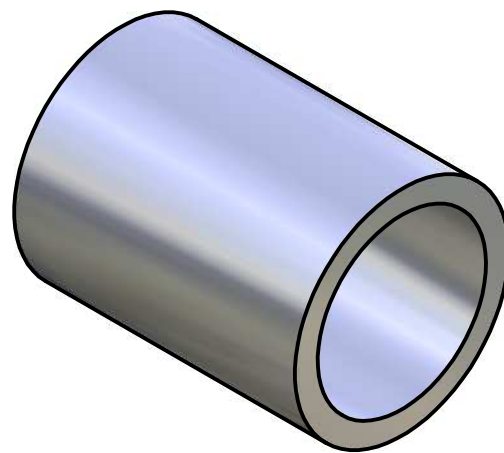
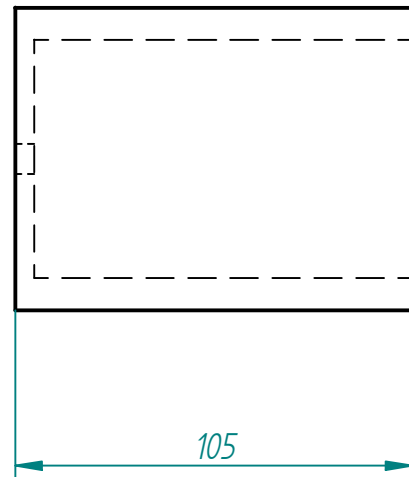
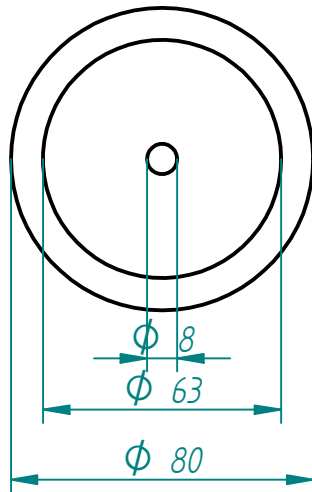
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA	
PLANO: Manivela 2		FIRMA:	FECHA: 10/02/11
		ESCALA: 1:1	Nº PLANO:

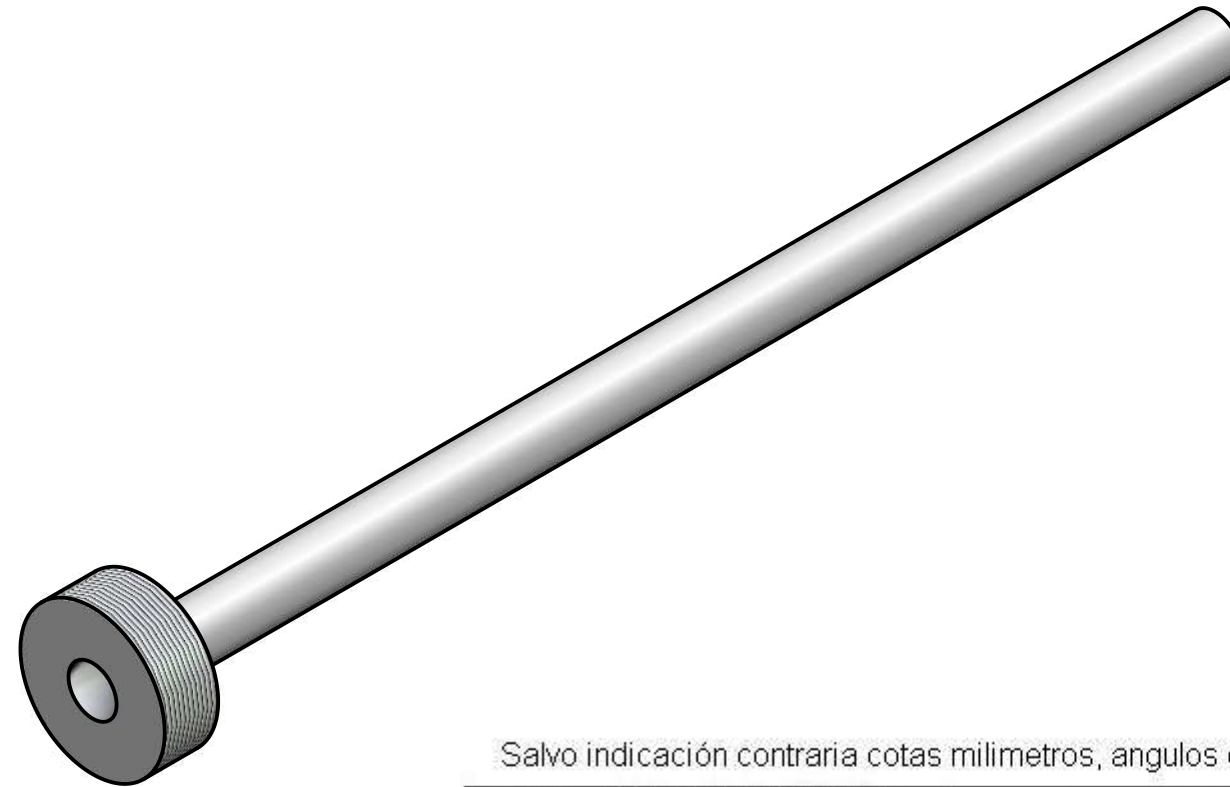
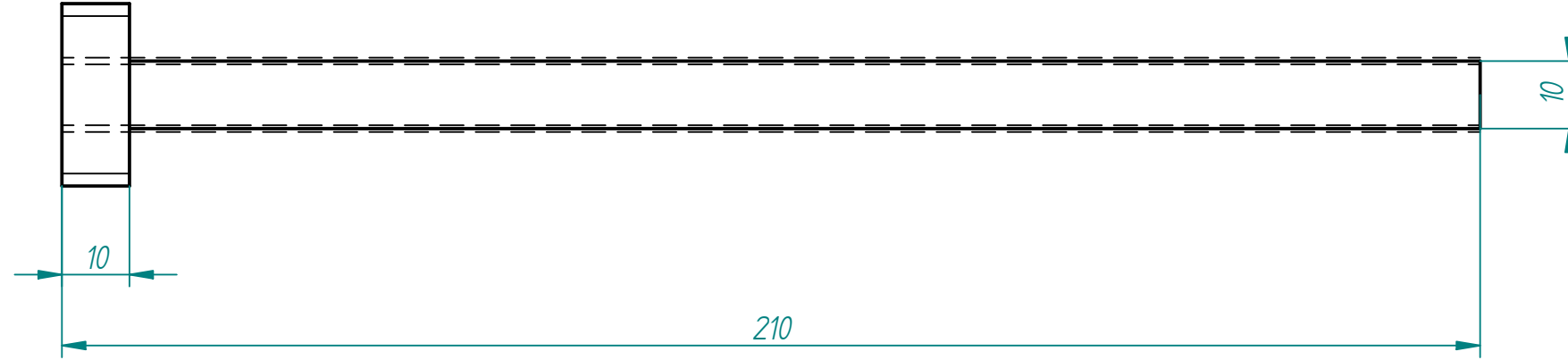
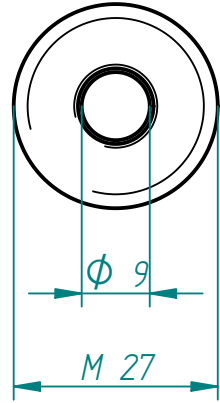
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO DE FISICA		
PROYECTO: MAGNETOMETRO(AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA		
PLANO:		FIRMA:		
FECHA: 10/02/11		ESCALA:	Nº PLANO:	

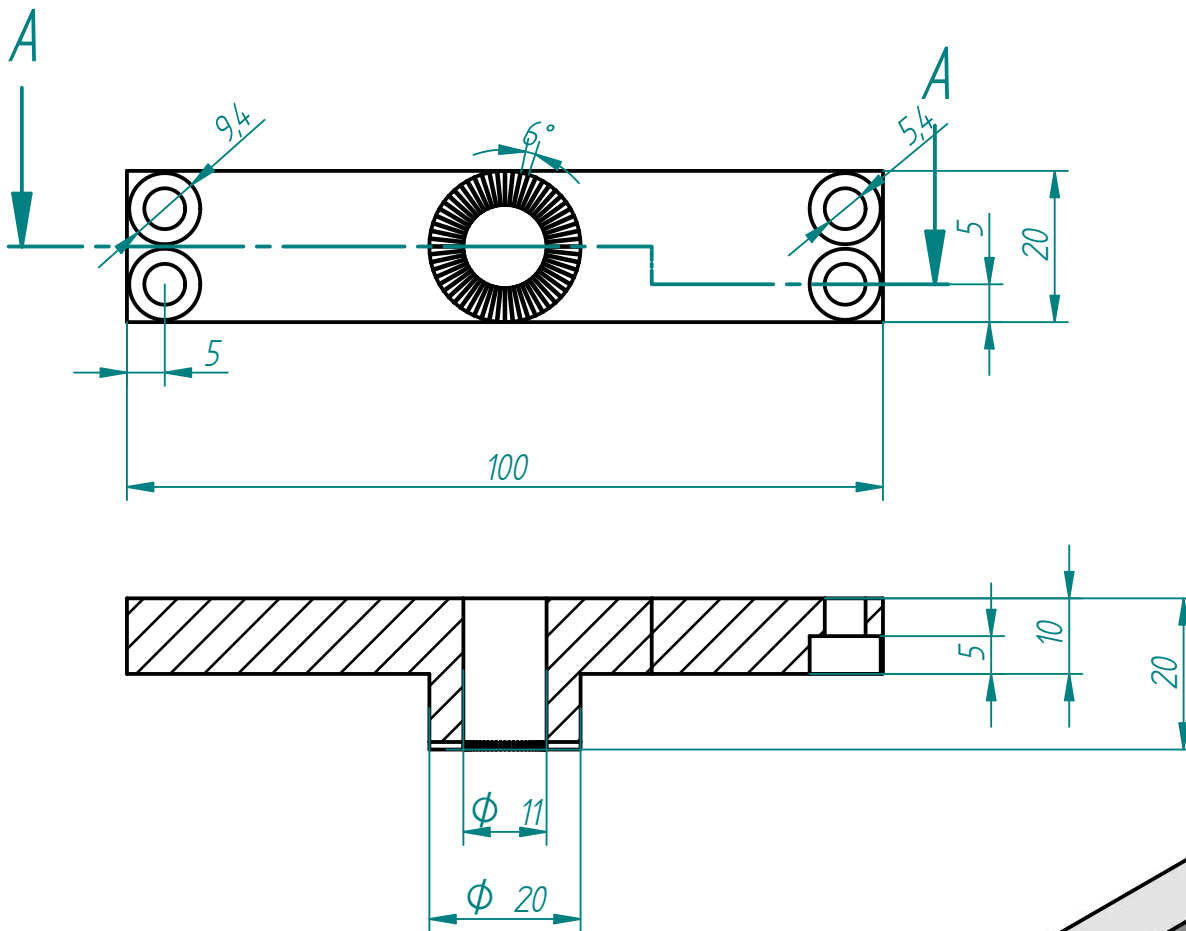
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



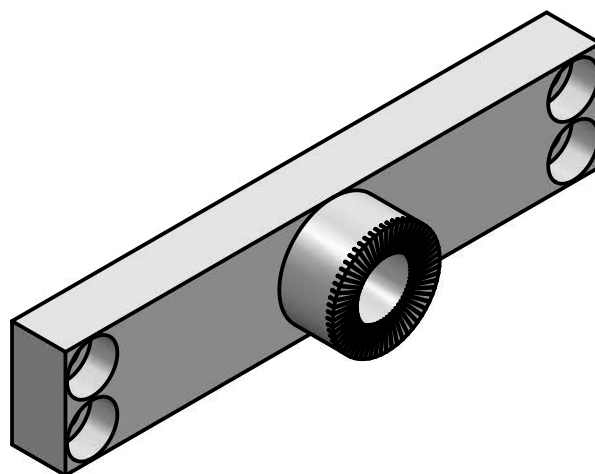
Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA	
PLANO: Tubo		FIRMA:	FECHA: 10/02/11
		ESCALA: 1:1	Nº PLANO:


Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



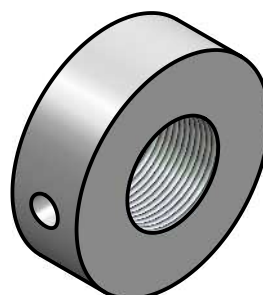
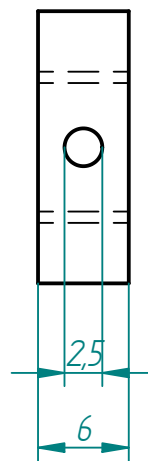
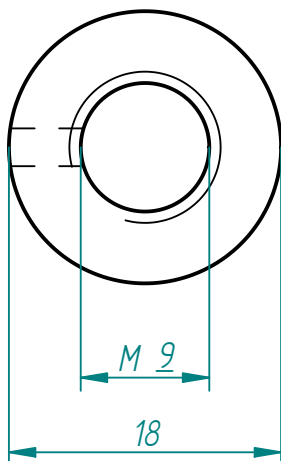
CORTE A-A




Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO DE FISICA		
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA		
PLANO: Tambor graduado		FIRMA:	FECHA: 10/02/11	ESCALA: 1:1
				Nº PLANO:

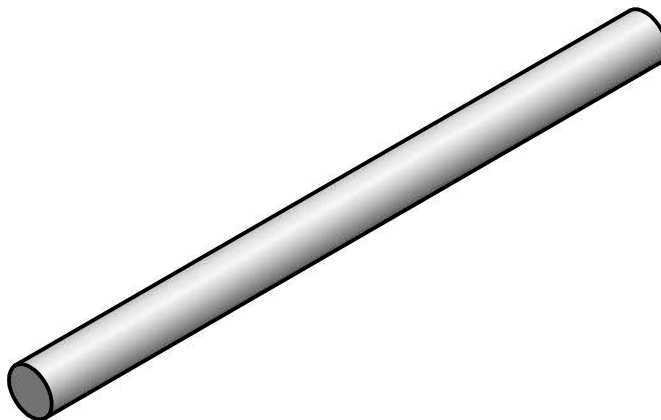
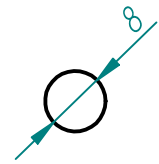
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO DE FÍSICA		
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUESANA FIRMA:		
PLANO: <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Rosca tope</div>	FECHA: 10/02/11	ESCALA: <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">2:1</div>	Nº PLANO:	

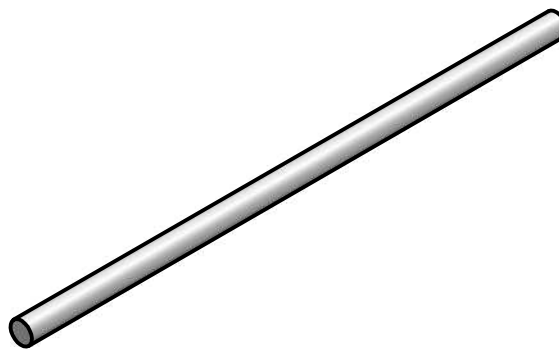
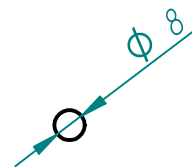
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado




Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO DE FISICA		
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUESANA FIRMA:		
PLANO: Varilla inox 8 x 115	FECHA: 10/02/11	ESCALA: 1:1	Nº PLANO:	

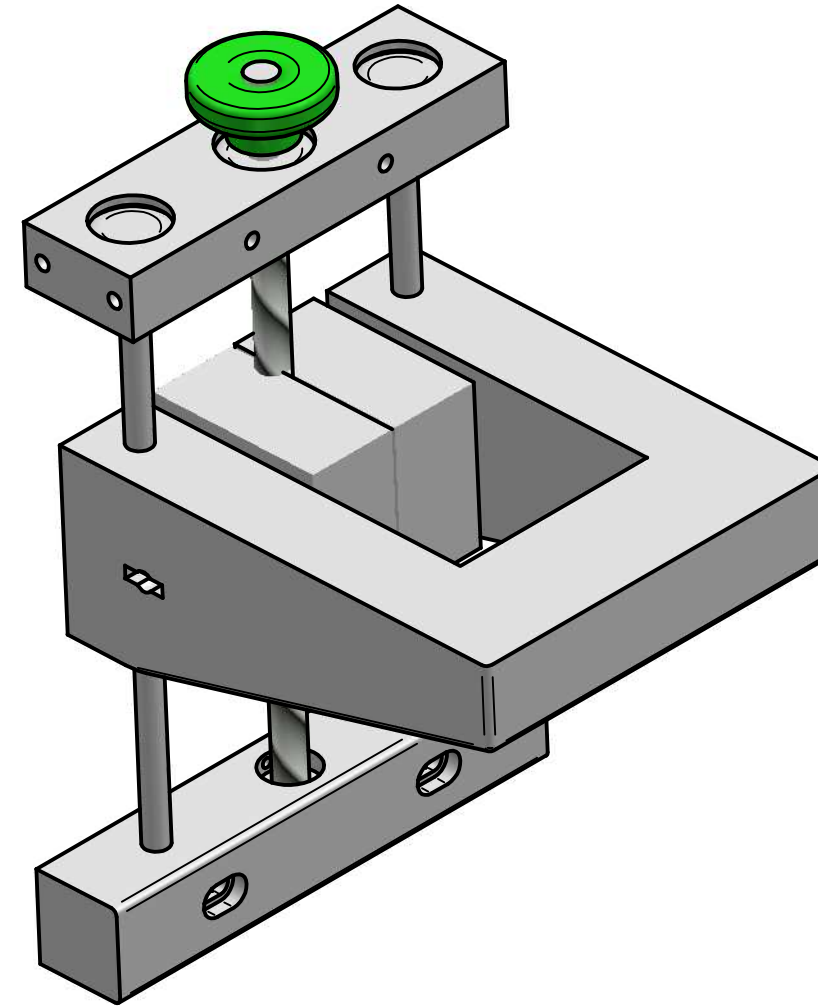
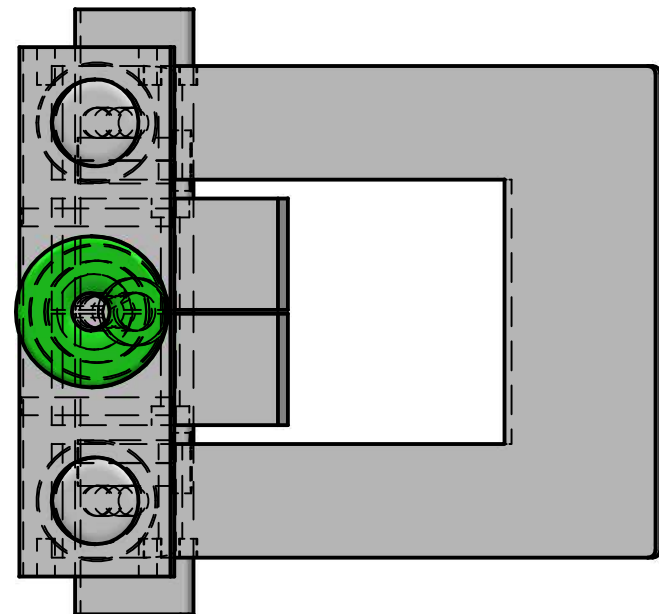
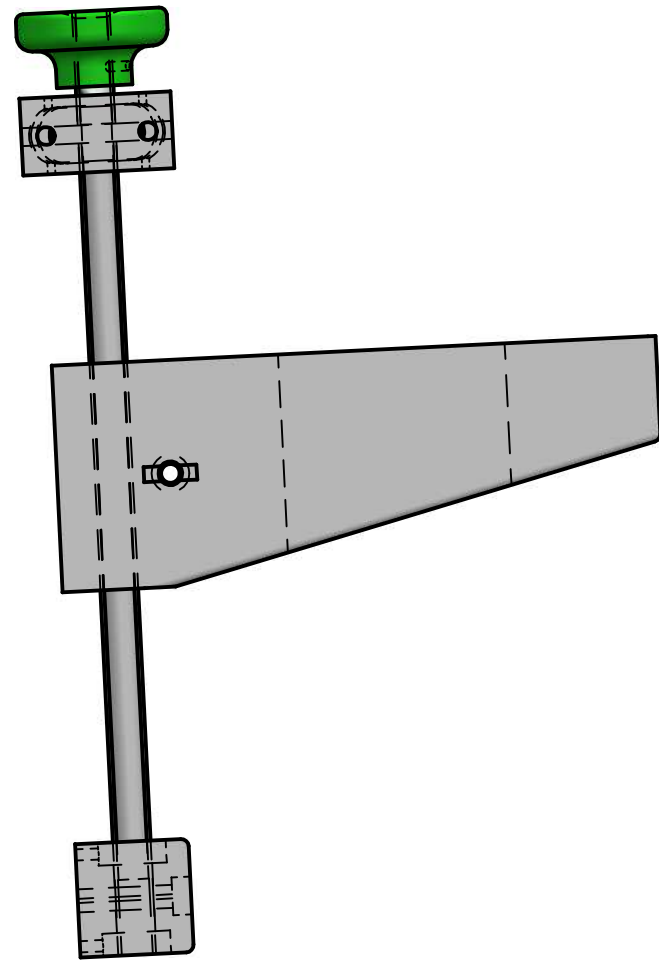
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO DE FISICA		
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA		
		FIRMA:		
PLANO: <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Varilla inox</div>	FECHA: 10/02/11	ESCALA: <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">1:2</div>	Nº PLANO:	

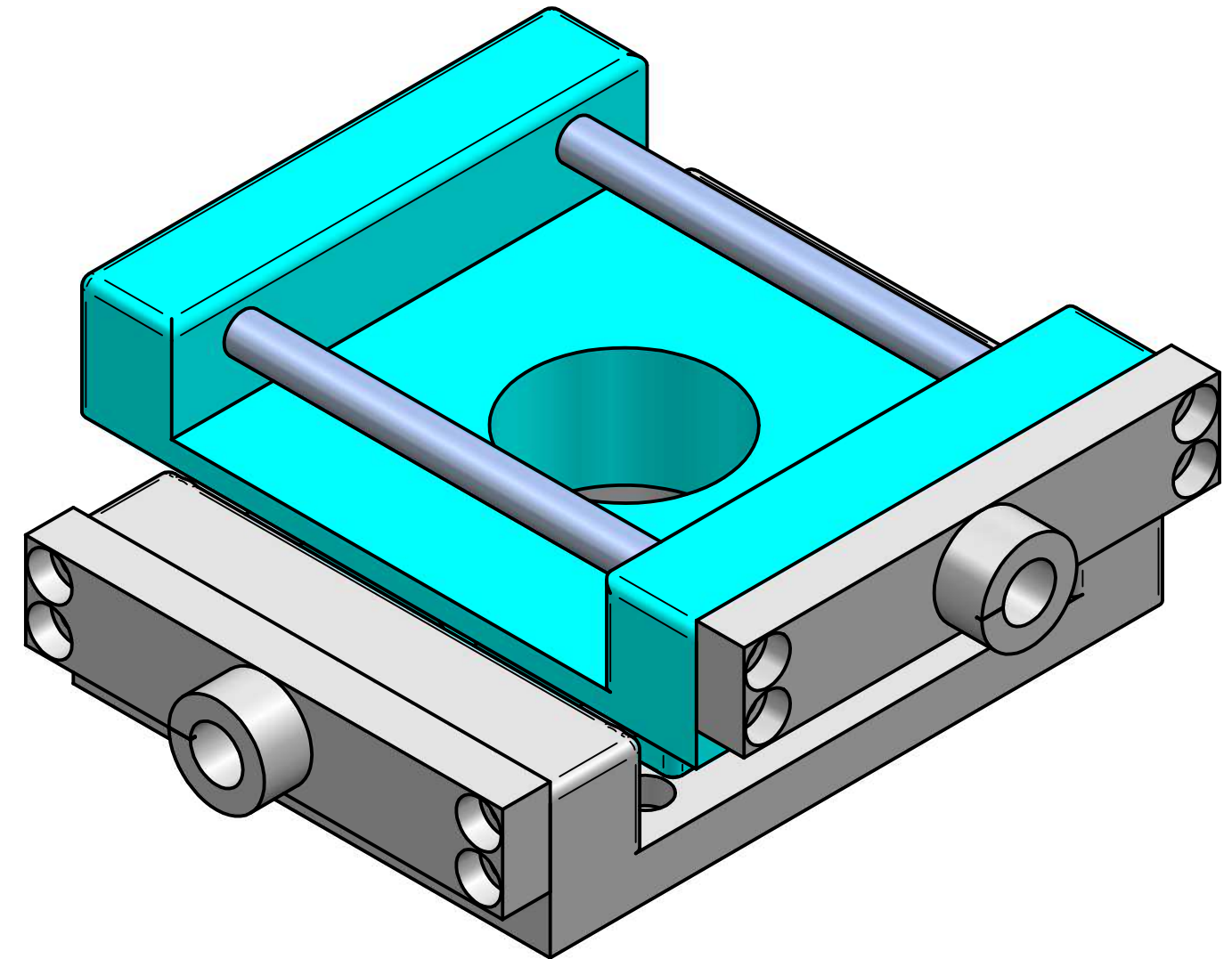
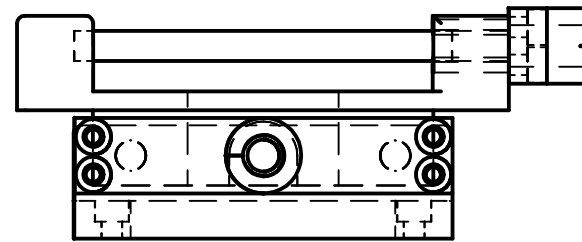
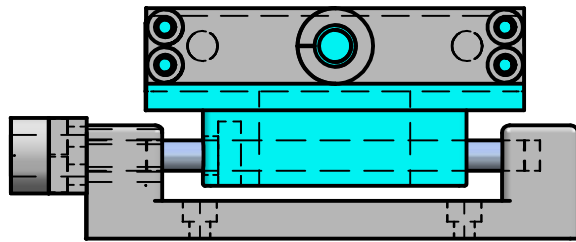
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado




Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

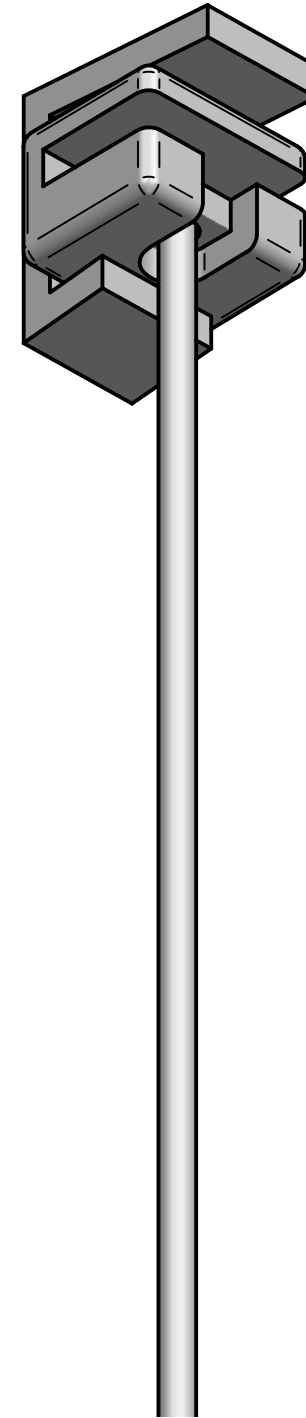
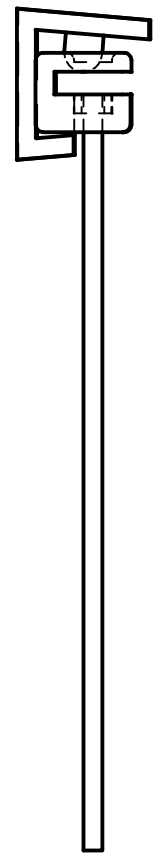
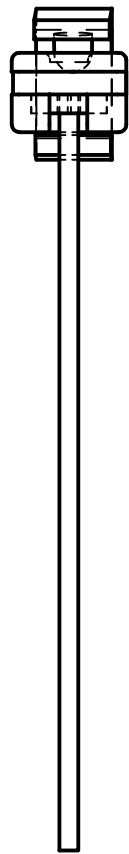
 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA	
PLANO: Conjunto Z		FIRMA:	FECHA: 10/02/11
ESCALA:		Nº PLANO:	

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO DE FISICA		
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA		
		FIRMA:		
PLANO:	Conjunto X Y	FECHA: 10/02/11	ESCALA:	Nº PLANO:

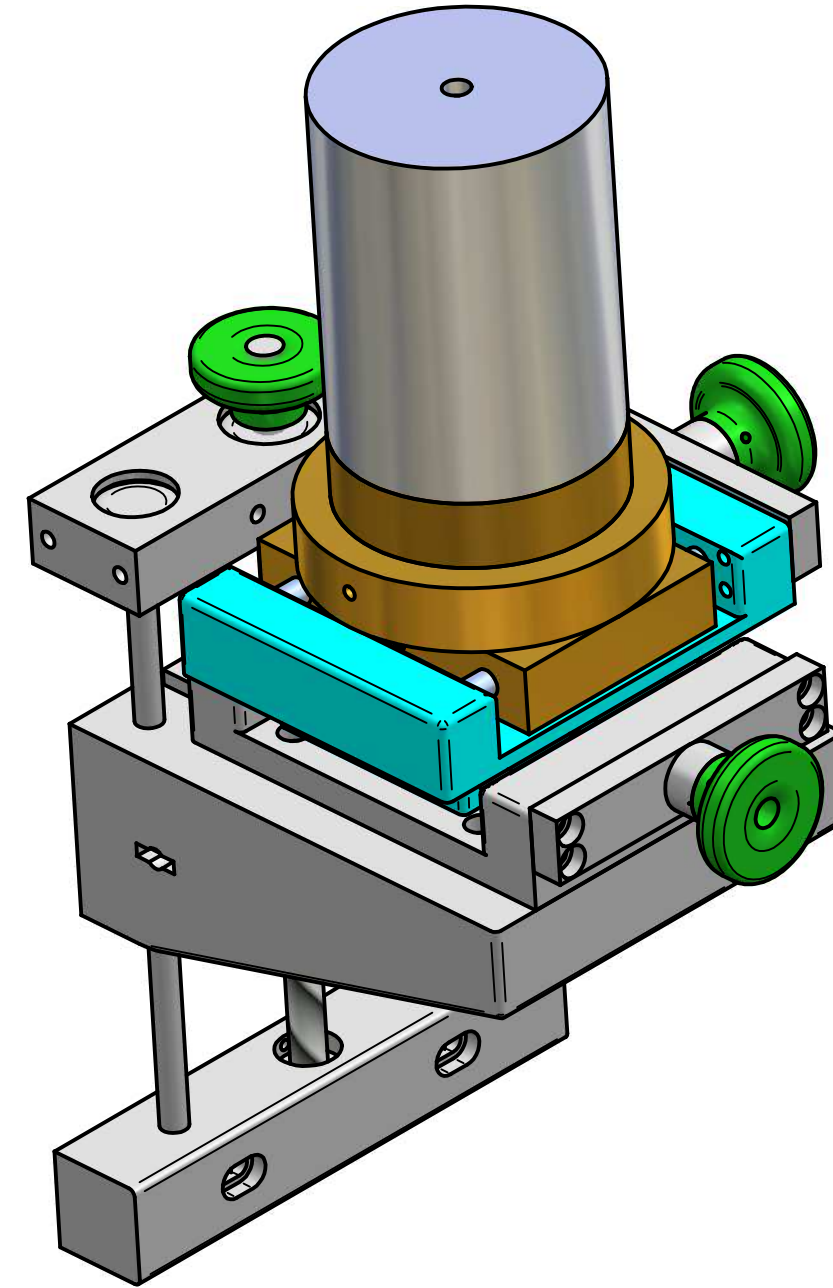
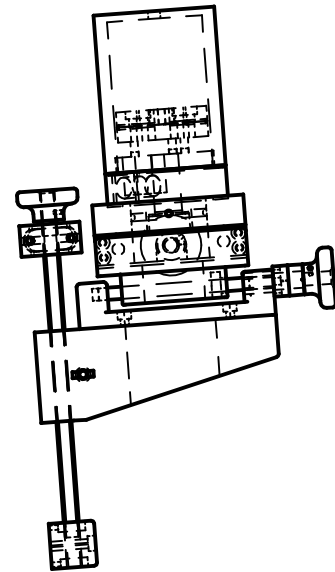
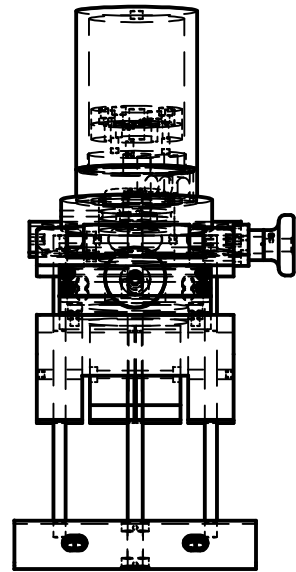


Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA	
PLANO: Conjunto porta-muestra		FIRMA:	FECHA: 10/02/11
		ESCALA: 10:1	Nº PLANO:

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Salvo indicación contraria cotas milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.2mm. y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako</i> <i>Unibertsitate Publikoa</i>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M	DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO: MAGNETOMETRO (AGM)		REALIZADO: LECUMBERRI NAVASCUES ANA	
PLANO: Conjunto		FIRMA:	FECHA: 10/02/11
ESCALA:		Nº PLANO:	

Capítulo 5

Anexo II (Cálculos)

5.1. Volúmenes/ centros de gravedad piezas

Physical Properties Report Part: E:\PLANOS\proyecto
\base.2.par 2/25/2011 2:15 Pm

Density= 2,712000 g/cm³

Volume= 145542,018673 mm³
Mass= 0,394710 kg
Surface Area= 26861,510204 mm²

With respect to the Global Coordinate System :

Center Of Mass :

X= 0,056516 mm
Y= -1,440638 mm
Z= 28,876873 mm

Center Of Volume :

X= 0,056516 mm
Y= -1,440638 mm
Z= 28,876873 mm

Mass Moments Of Inertia :

Ixx= 5212,321110 g-cm² Iyy= 5327,146840
Izz= 2784,126175 g-cm²
Ixy= 4,378533 g-cm² Ixz= 8,383729 g-cm²
Iyz= -202,238086 g-cm²

Principal Axes Orientation :

X= -0,002520 0,051199 0,998685
Y= -0,037869 0,997967 -0,051258
Z= -0,999280 -0,037948 -0,000576

With respect to the Principal Axes :

Principal Moments Of Inertia :

I1= 2777,876405 g-cm² I2= 2033,976150 g-cm²
I3= 1912,566666 g-cm²

Radii Of Gyration :

Rx= 26,528789 mm
Ry= 22,700420 mm
Rz= 22,012494 mm

Density= 7,750000 g/cm³

Volume= 5026,548246 mm³
Mass= 0,038956 kg
Surface Area= 2613,805088 mm²

With respect to the Global Coordinate System :

Center Of Mass :

X= -0,000000 mm
Y= 0,000000 mm
Z= -0,000000 mm

Center Of Volume :

X= -0,000000 mm
Y= 0,000000 mm
Z= -0,000000 mm

Mass Moments Of Inertia :

Ixx= 326,189471 g-cm² Iyy= 326,189471 g-cm²
Izz= 3,116460 g-cm²
Ixy= 0,000000 g-cm² Ixz= 0,000000 g-cm²
Iyz= -0,000000 g-cm²

Principal Axes Orientation :

X= 0,000000 1,000000 0,000000
Y= 1,000000 0,000000 0,000000
Z= 0,000000 0,000000 -1,000000

With respect to the Principal Axes :

Principal Moments Of Inertia :

I1= 326,189471 g-cm² I2= 326,189471 g-cm²
I3= 3,116460 g-cm²

Radii Of Gyration :

Rx= 28,936713 mm
Ry= 28,936713 mm
Rz= 2,828427 mm

Density= 0,913000 g/cm³
Volume= 14282,622590 mm³
Mass= 0,013040 kg
Surface Area= 4363,263438 mm²

With respect to the Global Coordinate System :

Center Of Mass :
X= 0,014148 mm
Y= -0,000000 mm
Z= 13,105187 mm

Center Of Volume :
X= 0,014148 mm
Y= -0,000000 mm
Z= 13,105187 mm

Mass Moments Of Inertia :
Ixx= 36,847474 g-cm² Iyy= 36,833746 g-cm²
Izz= 22,917215 g-cm²
Ixy= 0,000000 g-cm² Ixz= 0,009232 g-cm²
Iyz= -0,000000 g-cm²

Principal Axes Orientation :
X= 0,001765 0,000000 0,999998
Y= 0,999998 0,000000 -0,001765
Z= 0,000000 1,000000 0,000000

With respect to the Principal Axes :

Principal Moments Of Inertia :
I1= 22,917216 g-cm² I2= 14,451721 g-cm²
I3= 14,437993 g-cm²

Radii Of Gyration :
Rx= 13,256887 mm
Ry= 10,527383 mm
Rz= 10,522381 mm

Density= 1,050000 g/cm³
Volume= 224972,440821 mm³
Mass= 0,236221 kg
Surface Area= 50840,091697 mm²

With respect to the Global Coordinate System :

Center Of Mass :
X= 0,862015 mm
Y= 1,632476 mm
Z= 0,248938 mm

Center Of Volume :
X= 0,862015 mm
Y= 1,632476 mm
Z= 0,248938 mm

Mass Moments Of Inertia :
Ixx= 1993,317864 g-cm² Iyy= 5799,573583
g-cm² Izz= 4469,779082 g-cm²
Ixy= 33,979089 g-cm² Ixz= 0,002575 g-cm²
Iyz= -7,210171 g-cm²

Principal Axes Orientation :
X= -0,008042 0,999949 0,006111
Y= 0,000279 -0,006109 0,999981
Z= 0,999968 0,008044 -0,000230

With respect to the Principal Axes :

Principal Moments Of Inertia :
I1= 5797,968390 g-cm² I2= 4461,678787 g-cm²
I3= 1986,629531 g-cm²

Radii Of Gyration :
Rx= 49,542579 mm
Ry= 43,460012 mm
Rz= 29,000076 mm

Density= 1,050000 g/cm³

Volume= 164095,183067 mm³
Mass= 0,172300 kg
Surface Area= 37628,644397 mm²

With respect to the Global Coordinate System :

Center Of Mass :

X= 1,031555 mm
Y= 6,709827 mm
Z= -0,000007 mm

Center Of Volume :

X= 1,031555 mm
Y= 6,709827 mm
Z= -0,000007 mm

Mass Moments Of Inertia :

Ixx= 1822,191369 g-cm² Iyy= 5786,827154
g-cm² Izz= 4377,569928 g-cm²
Ixy= 30,029222 g-cm² Ixz= 0,000440 g-cm²
Iyz= -0,000260 g-cm²

Principal Axes Orientation :

X= -0,004480 0,999990 0,000000
Y= -0,000000 -0,000000 1,000000
Z= 0,999990 0,004480 0,000000

With respect to the Principal Axes :

Principal Moments Of Inertia :

I1= 5785,074812 g-cm² I2= 4298,163973 g-cm²
I3= 1744,537756 g-cm²

Radii Of Gyration :

Rx= 57,944461 mm
Ry= 49,945794 mm
Rz= 31,819813 mm

Density= 2,684000 g/cm³

Volume= 204657,151745 mm³
Mass= 0,549300 kg
Surface Area= 37593,515083 mm²

With respect to the Global Coordinate System :

Center Of Mass :

X= -0,000001 mm
Y= -0,871791 mm
Z= -0,370090 mm

Center Of Volume :

X= -0,000001 mm
Y= -0,871791 mm
Z= -0,370090 mm

Mass Moments Of Inertia :

Ixx= 4334,998713 g-cm² Iyy= 8754,733209 g-cm²
Izz= 5839,620728 g-cm²
Ixy= -0,000018 g-cm² Ixz= -0,000160 g-cm²
Iyz= -16,059931 g-cm²

Principal Axes Orientation :

X= 0,000000 0,999981 0,006110
Y= 0,000000 -0,006110 0,999981
Z= 1,000000 -0,000000 -0,000000

With respect to the Principal Axes :

Principal Moments Of Inertia :

I1= 8754,089803 g-cm² I2= 5835,336989 g-cm²
I3= 4330,071568 g-cm²

Radii Of Gyration :

Rx= 39,920942 mm
Ry= 32,593294 mm
Rz= 28,076490 mm

Density= 2,712000 g/cm³

Volume= 215811,707338 mm³
Mass= 0,585281 kg
Surface Area= 56259,641240 mm²

With respect to the Global Coordinate System :

Center Of Mass :

X= 6,052842 mm
Y= -0,000000 mm
Z= 0,000000 mm

Center Of Volume :

X= 6,052842 mm
Y= -0,000000 mm
Z= 0,000000 mm

Mass Moments Of Inertia :

Ixx= 7256,598990 g-cm² Iyy= 9804,603170 g-cm²
Izz= 9804,603170 g-cm²
Ixy= 0,000000 g-cm² Ixz= 0,000000 g-cm²
Iyz= 0,000000 g-cm²

Principal Axes Orientation :

X= 0,000000 1,000000 0,000000
Y= 0,000000 0,000000 1,000000
Z= 1,000000 0,000000 0,000000

With respect to the Principal Axes :

Principal Moments Of Inertia :

I1= 9590,174230 g-cm² I2= 9590,174230 g-cm²
I3= 7256,598990 g-cm²

Radii Of Gyration :

Rx= 40,479105 mm
Ry= 40,479105 mm
Rz= 35,211475 mm

Physical Properties Report

Volume= 1065402,28 mm³
 Mass= 1,694 kg

With respect to the Global Coordinate System.

Center Of Mass:

X= -4,65 mm
 Y= 4,16 mm
 Z= -35,84 mm

Center Of Volume:

X= -5,07 mm
 Y= 3,87 mm
 Z= -56,78 mm

Mass Moments Of Inertia:

Ixx= 89883,58 g-cm²
 Iyy= 90576,76 g-cm²
 Izz= 27902,37 g-cm²

Ixy= -439,94 g-cm²
 Ixz= 3786,83 g-cm²
 Iyz= -2497,21 g-cm²

Principal Axes Orientation:

X= 0,18	0,98	0,00
Y= 0,98	-0,18	-0,02
Z= -0,02	0,00	-1,00

With respect to the Principal Axes

Principle Moments Of Inertia:

I1= 68475,17 g-cm²
 I2= 67836,22 g-cm²
 I3= 27220,09 g-cm²

Radii Of Gyration :

Rx= 63,58 mm
 Ry= 63,28 mm
 Rz= 40,09 mm

Physical Properties Report

Volume= 1065402,30 mm³
 Mass= 2,755 kg

With respect to the Global Coordinate System.

Center Of Mass:

X= -5,09 mm
 Y= 3,87 mm
 Z= -57,53 mm

Center Of Volume:

X= -5,07 mm
 Y= 3,87 mm
 Z= -56,78 mm

Mass Moments Of Inertia:

Ixx= 198450,97 g-cm²
 Iyy= 200315,45 g-cm²
 Izz= 55692,71 g-cm²

Ixy= -939,40 g-cm²
 Ixz= 9710,03 g-cm²
 Iyz= -6252,44 g-cm²

Principal Axes Orientation:

X= 0,24	0,97	-0,01
Y= 0,97	-0,24	-0,03
Z= -0,03	0,00	-1,00

With respect to the Principal Axes

Principle Moments Of Inertia:

I1= 108520,68 g-cm²
 I2= 106815,55 g-cm²
 I3= 54513,86 g-cm²

Radii Of Gyration :

Rx= 62,76 mm
 Ry= 62,26 mm
 Rz= 44,48 mm

5.2. Cálculos Muelles

5.2.1. Muelle 6



Helical cylindrical compression spring of round wires and bars [mm]

- i **Calculation without errors.**
- ii **Project information**

?

Input parameters section

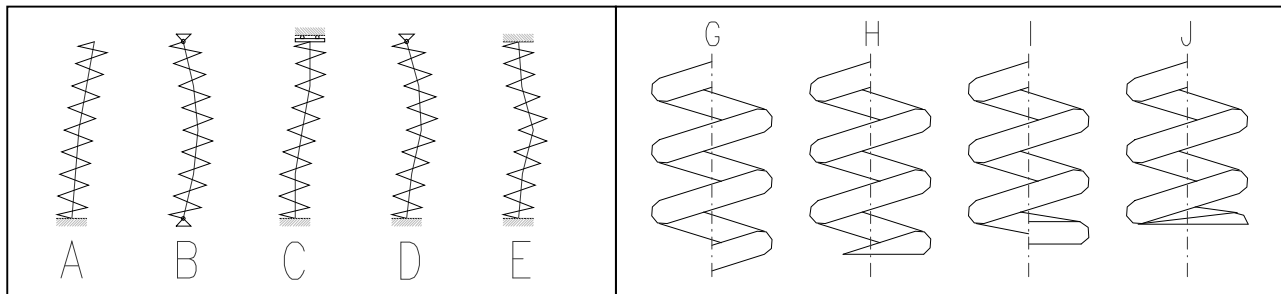
1.0 Selection of load conditions, spring operational and production parameters.

1.1 Working cycle operational parameters

- 1.2 Method of loading Fatigue loading ▼
- 1.3 Working temperature T [° C]
- 1.4 Working environment Non corrosive ▼

1.5 Spring design

- 1.6 Seating of the spring C ... Clamped - clamped ends with lateral restraint ▼
- 1.7 Design of spring ends J ... Closed ends ground ▼
- 1.8 Surface treatment Non shot peened springs ▼
- 1.9 Direction of coil winding Right ▼
- 1.10 Number of end / ground coils n_c / n_G



1.11 Spring exposed to static loading

- 1.12 Operational loading mode Light service ▼
- 1.13 Desired level of safety s_s
- 1.14 Method of stress curvature correction Without correction ▼

1.15 Spring exposed to fatigue loading

- 1.16 Operational loading mode Continuous loading ▼
- 1.17 Desired spring service life in thousands of cycles N 100 ▼
- 1.18 Desired level of safety s_f
- 1.19 Method of stress curvature correction Correction by Wahl ▼

2.0 Options of spring material.

- 2.1 Production method : Cold formed springs ▼
- 2.2 Spring material : Stainless steel wire EN 10270-3-1.4568 ▼

2.3 Field of use of the selected material

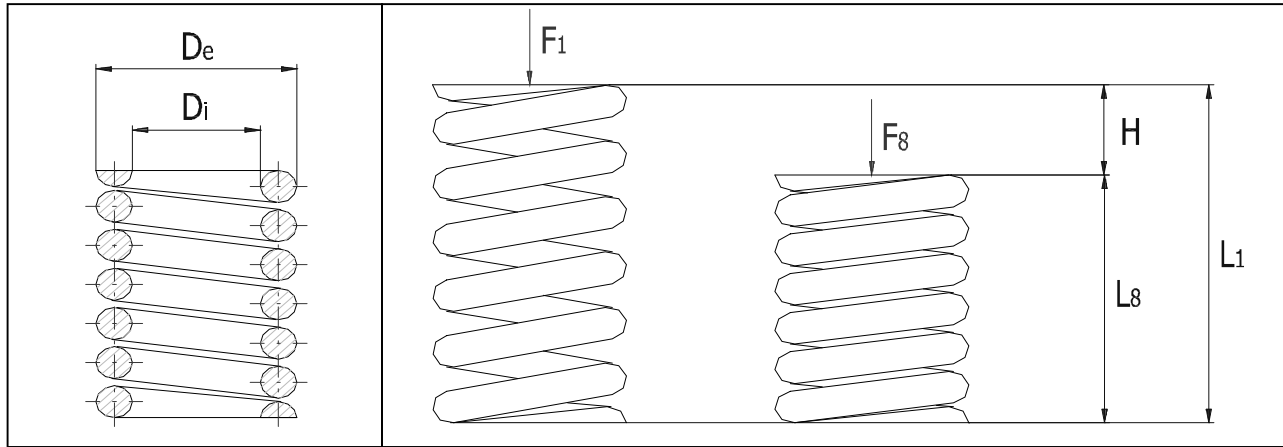
- 2.4 Suitability for fatigue load
- 2.5 Relative strength
- 2.6 Corrosion resistance
- 2.7 Max. operational temperature [° C]
- 2.8 Delivered wire diameters [mm]

2.9 Mechanical and physical properties of the material

2.10	Modulus of elasticity in shear	G_{20}	78000	[MPa]
2.11	Modulus of elasticity at operational temperature	G	76050	[MPa]
2.12	Density	ρ	7900	[kg/m ³]
2.13 Strength characteristics of the material				
2.14	Ultimate tensile strength	S_u	2130	[MPa]
2.15	Permissible torsional stress	τ_A	1065	[MPa]
2.16	Ultimate fatigue strength in shear	τ_e	575	[MPa]
2.17	Fatigue strength by finite life	τ_f	799	[Mpa]

3.0 Spring design.

3.1	Desired parameters of working cycle		Deviat. [%]		
3.2	Maximum working loading	F_8	30,0	10,0	[N]
3.3	Minimum working loading	F_1	10,0	30,0	[N]
3.4	Fully loaded spring length	L_8	10,0	20,0	[mm]
3.5	Required spring working stroke	H	5,0	20,0	[mm]
3.6	Preloaded spring length	L_1	15	20,00	[mm]



3.7 Filters of the designed solution

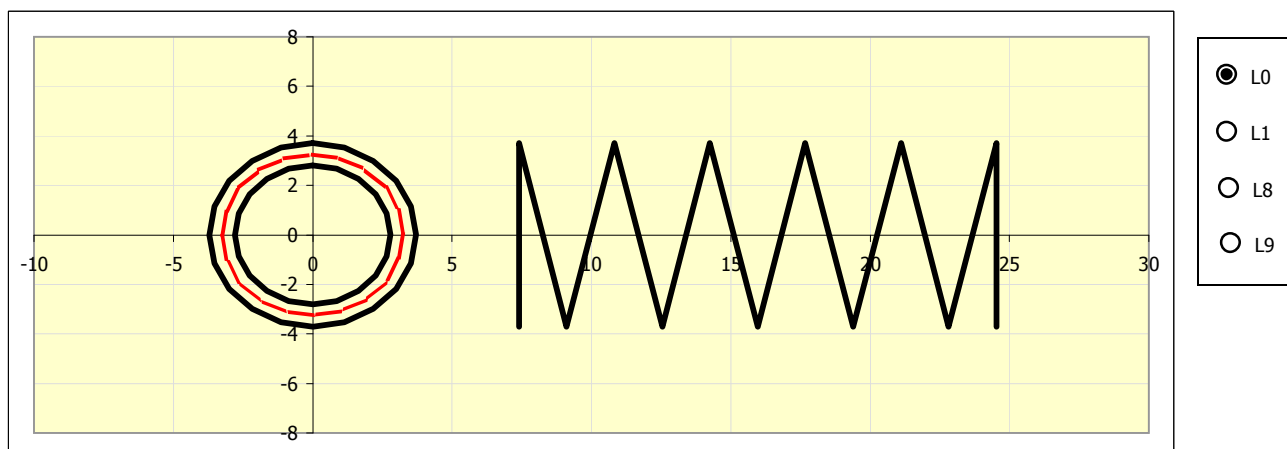
3.8	<input type="checkbox"/> Maximum permissible spring outer diameter	D_{emax}	10,00	[mm]
3.9	<input checked="" type="checkbox"/> Minimum permissible spring inner diameter	D_{imin}	5,00	[mm]
3.10	Permissible division of the number of active coils		1	▼
3.11	Permissible exceeding of spring limit dimensions		0,0	[%]
3.12	Perform check of buckling		No	▼
3.13	Perform check of the limit working length		Yes	▼
3.14	Keep to the required level of safety with the strength check		Yes	▼
3.15	Quality criterion	Combined		▼
3.16	Number of design iteration		Low	▼
3.17 Options of solutions				
3.18	Sort design result by		Spring diameter	▼
3.19	Run design calculation			

3.20	ID	D	D_e	D_i	d	n	L_0	L_1	L_8	F_1	F_8	τ_8	s_s	s_f	m	quality
	1.	6.5	7.4	5.6	0.90	5.00	17.1	14.8	10.4	10.6	30.6	695	1.53	1.17	0.7	0.45

Results section

4.0 Summarized list of designed spring parameters.

4.1 Refresh results from the selected spring design



4.2 Spring loading

4.3 Minimum working loading	F_1	10,60	[N]
4.4 Maximum working loading	F_8	30,60	[N]

4.5 Spring dimensions

4.6 Mean spring diameter	D	6,5	[mm]
4.7 Recommended limits of wire diameter	d_{min} / d_{max}	0,41 1,63	[mm]
4.8 Wire diameter	d	0,9	[mm]
4.9 Outer / inner spring diameter	D_e / D_i	7,4 5,6	[mm]
4.10 Spring index	c	7,22	
4.11 Number of active coils	n	5	
4.12 Recommended limits of free spring length	L_{0min} / L_{0max}	11,55 21,30	[mm]
4.13 Free spring length	L_0	17,13	[mm]
4.14 Recommended pitch limits	t_{min} / t_{max}	1,95 3,90	[mm]
4.15 Space / pitch between coils of free spring	a / t	2,17 3,07	[mm]

4.16 Parameters of preloaded spring

4.17 Spring deflection	s_1	2,33	[mm]
4.18 Spring length	L_1	14,80	[mm]
4.19 Spring stress	τ_1	240,68	[MPa]

4.20 Parameters of fully loaded spring

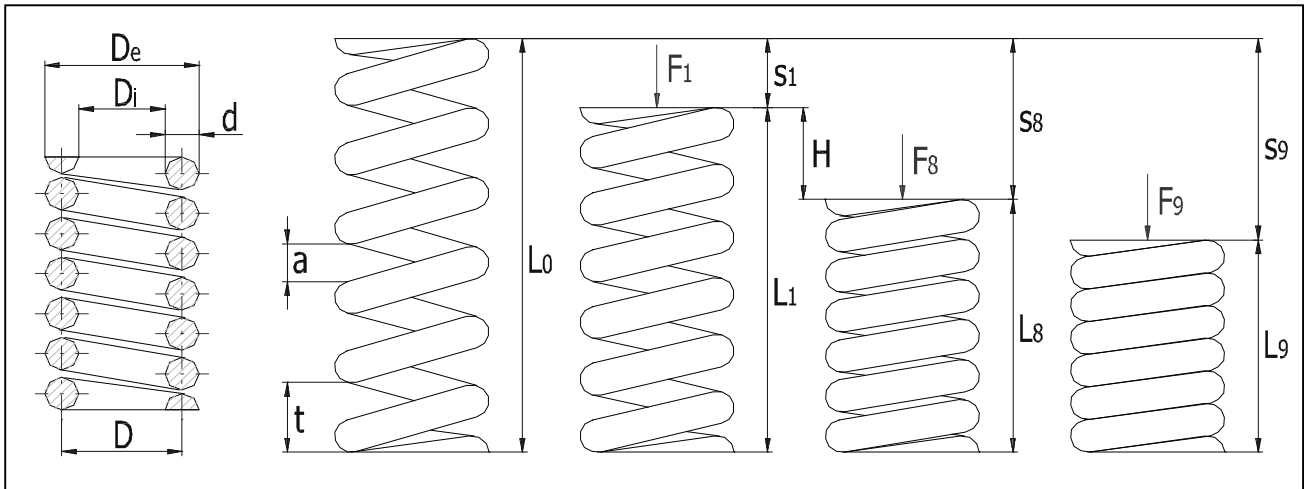
4.21 Spring deflection	s_8	6,74	[mm]
4.22 Spring length	L_8	10,39	[mm]
4.23 Spring working stroke	H	4,40	[mm]
4.24 Spring stress	τ_8	694,78	[MPa]

4.25 Parameters of spring limit state

4.26 Theoretic spring limit loading	F_9	49,19	[N]
4.27 Theoretic spring deflection / length	s_9 / L_9	10,83 6,30	[mm]
4.28 Theoretic stress	τ_9	1116,92	[MPa]
4.29 Sum of min. permissible spaces between active coils	s_{amin}	1,203	[mm]
4.30 Minimum spring limit length	L_{minF}	7,50	[mm]

4.31 **Spring mechanical and physical properties**

4.32	Spring constant	k	4,54	[N/mm]
4.33	Spring deformation energy	W_8	0,10	[J]
4.34	Critical spring speed	v_k	12,18	[m/s]
4.35	Natural spring frequency	f	1487,60	[Hz]
4.36	Developed wire length	l	146	[mm]
4.37	Spring weight	m	0,001	[kg]



4.38 **Spring strength check**

4.39	Curvature correction factor	K_s	1,0000	
4.40	Corrected stress of fully loaded spring	τ_{8C}	694,78	[MPa]
4.41	Permissible torsional stress	τ_A	1065	[MPa]
4.42	Level of safety		1,533	

4.43 **Check of buckling**

4.44	Permissible / actual max. working compression of spring		79,3 39,33	[%]
------	---	--	--------------	-----

4.45 **Strength check of a spring exposed to fatigue loading**

4.46	Curvature correction factor	K_f	1,2057	
4.47	Corrected stress of fully loaded spring	τ_{8C}	837,69	[MPa]
4.48	Fatigue strength for the given loading	τ_{max}	979	[MPa]
4.49	Level of safety		1,169	

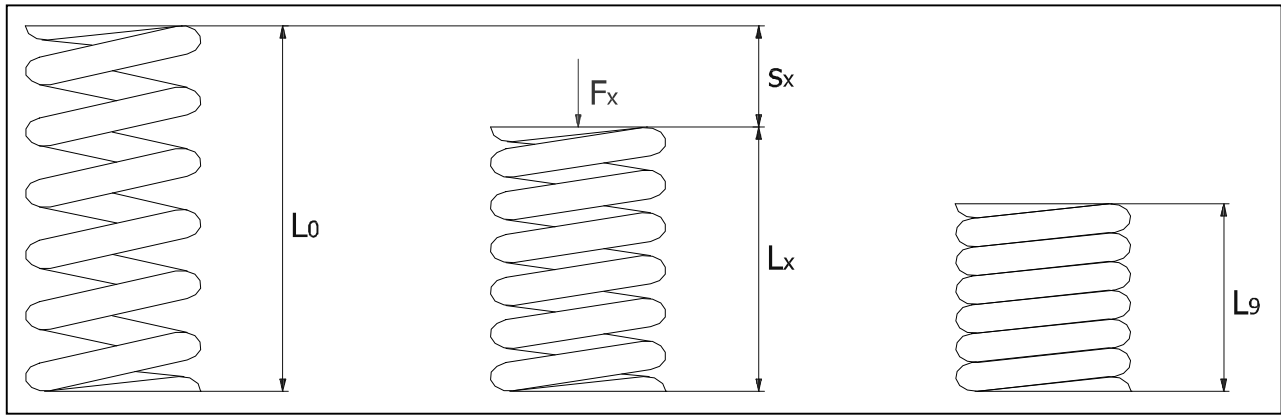
5.0 **Parameters of designed spring for specific working load or spring length.**

5.1 **Spring parameters for the given working loading**

5.2	Spring loading	F_x	250,0	[N]
5.3	Spring deflection	S_x	55,04	[mm]
5.4	Spring length	L_x	-37,91	[mm]
5.5	Spring stress	τ_x	5676,31	[MPa]

5.6 **Spring parameters for the given working length**

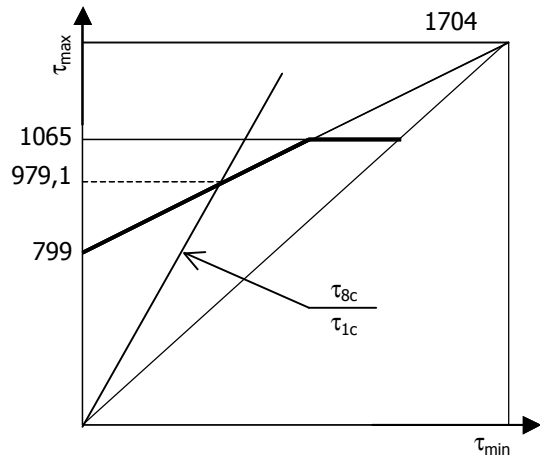
5.7	Spring length	L_x	60,00	[mm]
5.8	Spring deflection	S_x	-42,87	[mm]
5.9	Spring produced force	F_x	-194,73	[N]
5.10	Spring stress	τ_x	-4421,29	[MPa]



6.0 Check of loading capacity of a spring exposed to fatigue loading.

- 6.1 Curvature correction factor
- 6.2 Corrected stress of preloaded spring
- 6.3 Corrected stress of fully loaded spring
- 6.4 Ultimate shear strength
- 6.5 Permissible torsional stress
- 6.6 Ultimate fatigue strength in shear
- 6.7 Fatigue strength by finite life
- 6.8 Fatigue strength for the given loading
- 6.9 Level of safety

K_f	1,2057	
τ_{1c}	290,18	[MPa]
τ_{8c}	837,69	[MPa]
S_{us}	1704	[MPa]
τ_A	1065	[MPa]
τ_e	575	[MPa]
τ_f	799	[Mpa]
τ_{max}	979,1	[MPa]
	1,169	



Supplements section

7.0 Spring check calculation.

8.0 Calculation of working forces of the spring.

- 8.1 Uploading of input data from main calculation

8.2 Parameters of working cycle


8.3 Fully loaded spring length	L_8	32,02	[mm]
8.4 Preloaded spring length	L_1	48,01	[mm]
8.5 Spring working stroke	H	15,99	[mm]

8.6 Spring dimensions

8.7	Mean spring diameter	D	10,49	[mm]
8.8	Wire diameter / from table	d	1,20 3,2 ▼	[mm]
8.9	Outer / inner spring diameter	D_e / D_i	11,69 9,29	[mm]
8.10	Spring index	c	8,74	
8.11	Number of active coils	n	10,50	
8.12	Free spring length	L_0	52,31	[mm]
8.13	Compression of min. / max. loaded spring	s_1 / s_8	4,30 20,29	[mm]
8.14	Theoretic spring limit length	L_g	15	[mm]
8.15	Spring loading			
8.16	Maximum working loading	F_8	33,0	[N]
8.17	Minimum working loading	F_1	7,0	[N]
8.18	Spring strength check			
8.19	Permissible torsional stress	τ_A	1025	[MPa]
8.20	Corrected stress of fully loaded spring	τ_{8c}	510,1	[MPa]
8.21	Level of safety		2,009	
8.22	Transfer of solution into main calculation			

9.0 Calculation of working lengths of the spring.

10.0 Graphical output, CAD systems

10.1	2D drawing output to:	DXF File ▼	
10.2	2D Drawing scale	Automatic ▼	
10.3	Spring length in the drawing and the model	75,00	
10.4	Text description (Information for BOM)		
	Row 1 (BOM attribute 1)	Compression spring	<input checked="" type="checkbox"/>
	Row 2 (BOM attribute 2)	D=6,5; d=0,9; n=5; L0=17,13	
	Row 3 (BOM attribute 3)	Stainless steel wire EN 10270-3-1.4568	
10.5	Table of parameters		



Helical cylindrical compression spring of round wires and bars [mm]

- i Check lines:4.44;
- ii Project information

?

Input parameters section

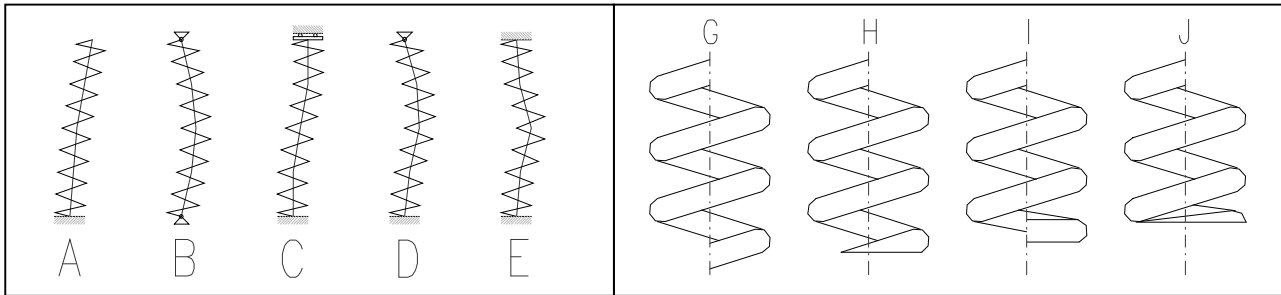
1.0 Selection of load conditions, spring operational and production parameters.

1.1 Working cycle operational parameters

- 1.2 Method of loading Fatigue loading ▼
- 1.3 Working temperature T [° C]
- 1.4 Working environment Non corrosive ▼

1.5 Spring design

- 1.6 Seating of the spring C ... Clamped - clamped ends with lateral restraint ▼
- 1.7 Design of spring ends J ... Closed ends ground ▼
- 1.8 Surface treatment Non shot peened springs ▼
- 1.9 Direction of coil winding Right ▼
- 1.10 Number of end / ground coils n_c / n_G



1.11 Spring exposed to static loading

- 1.12 Operational loading mode Light service ▼
- 1.13 Desired level of safety s_s
- 1.14 Method of stress curvature correction Without correction ▼

1.15 Spring exposed to fatigue loading

- 1.16 Operational loading mode Continuous loading ▼
- 1.17 Desired spring service life in thousands of cycles N 100 ▼
- 1.18 Desired level of safety s_f
- 1.19 Method of stress curvature correction Correction by Wahl ▼

2.0 Options of spring material.

- 2.1 Production method : Cold formed springs ▼
- 2.2 Spring material : Stainless steel wire EN 10270-3-1.4568 ▼

2.3 Field of use of the selected material

- 2.4 Suitability for fatigue load
- 2.5 Relative strength
- 2.6 Corrosion resistance
- 2.7 Max. operational temperature [° C]
- 2.8 Delivered wire diameters [mm]

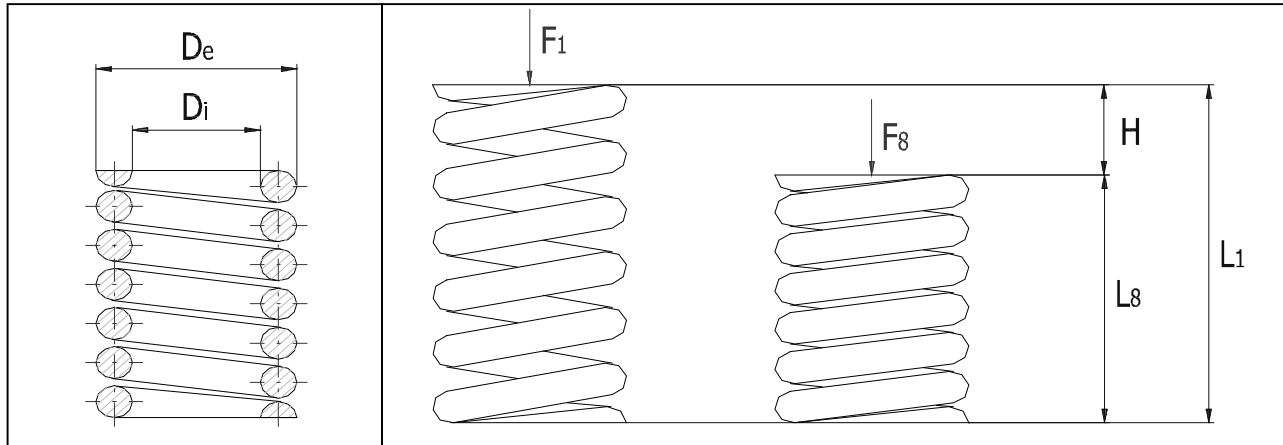
2.9 Mechanical and physical properties of the material

5.2.2. Muelle 8

2.10	Modulus of elasticity in shear	G_{20}	78000	[MPa]
2.11	Modulus of elasticity at operational temperature	G	76050	[MPa]
2.12	Density	ρ	7900	[kg/m ³]
2.13 Strength characteristics of the material				
2.14	Ultimate tensile strength	S_u	2030	[MPa]
2.15	Permissible torsional stress	τ_A	1015	[MPa]
2.16	Ultimate fatigue strength in shear	τ_e	548	[MPa]
2.17	Fatigue strength by finite life	τ_f	761	[Mpa]

3.0 Spring design.

3.1	Desired parameters of working cycle		Deviat. [%]		
3.2	Maximum working loading	F_8	30,0	10,0	[N]
3.3	Minimum working loading	F_1	10,0	30,0	[N]
3.4	Fully loaded spring length	L_8	40,0	20,0	[mm]
3.5	Required spring working stroke	H	20,0	20,0	[mm]
3.6	Preloaded spring length	L_1	60	20,00	[mm]



3.7 Filters of the designed solution

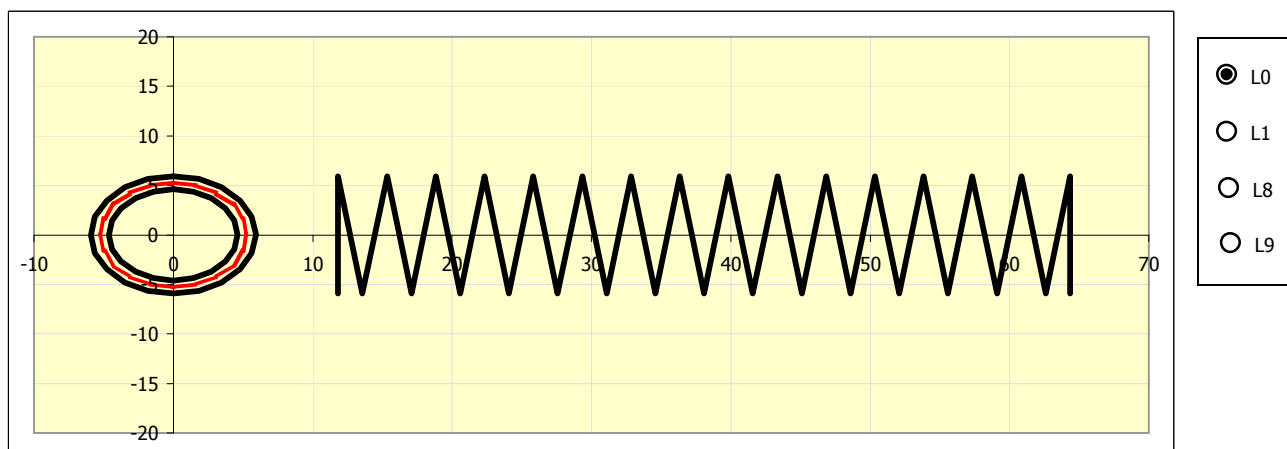
3.8	<input type="checkbox"/> Maximum permissible spring outer diameter	D_{emax}	10,00	[mm]
3.9	<input type="checkbox"/> Minimum permissible spring inner diameter	D_{imin}	8,00	[mm]
3.10	Permissible division of the number of active coils		1	▼
3.11	Permissible exceeding of spring limit dimensions		0,0	[%]
3.12	Perform check of buckling		No	▼
3.13	Perform check of the limit working length		Yes	▼
3.14	Keep to the required level of safety with the strength check		Yes	▼
3.15	Quality criterion	Combined		▼
3.16	Number of design iteration		Low	▼
3.17 Options of solutions				
3.18	Sort design result by		Spring diameter	▼
3.19	Run design calculation			

3.20	ID	D	D_e	D_i	d	n	L_0	L_1	L_8	F_1	F_8	τ_8	s_s	s_f	m	quality
	1.	10.5	11.8	9.2	1.30	15.00	52.5	48.0	32.0	7.0	31.8	388	2.62	1.88	6.0	1.36

Results section

4.0 Summarized list of designed spring parameters.

4.1 Refresh results from the selected spring design



4.2 Spring loading

4.3 Minimum working loading	F_1	7,00	[N]
4.4 Maximum working loading	F_8	31,80	[N]

4.5 Spring dimensions

4.6 Mean spring diameter	D	10,53	[mm]
4.7 Recommended limits of wire diameter	d_{min} / d_{max}	0,66 2,63	[mm]
4.8 Wire diameter	d	1,3	[mm]
4.9 Outer / inner spring diameter	D_e / D_i	11,83 9,23	[mm]
4.10 Spring index	c	8,10	
4.11 Number of active coils	n	15	
4.12 Recommended limits of free spring length	L_{0min} / L_{0max}	49,99 52,65	[mm]
4.13 Free spring length	L_0	52,52	[mm]
4.14 Recommended pitch limits	t_{min} / t_{max}	3,16 6,32	[mm]
4.15 Space / pitch between coils of free spring	a / t	2,03 3,33	[mm]

4.16 Parameters of preloaded spring

4.17 Spring deflection	s_1	4,52	[mm]
4.18 Spring length	L_1	48,00	[mm]
4.19 Spring stress	τ_1	85,44	[MPa]

4.20 Parameters of fully loaded spring

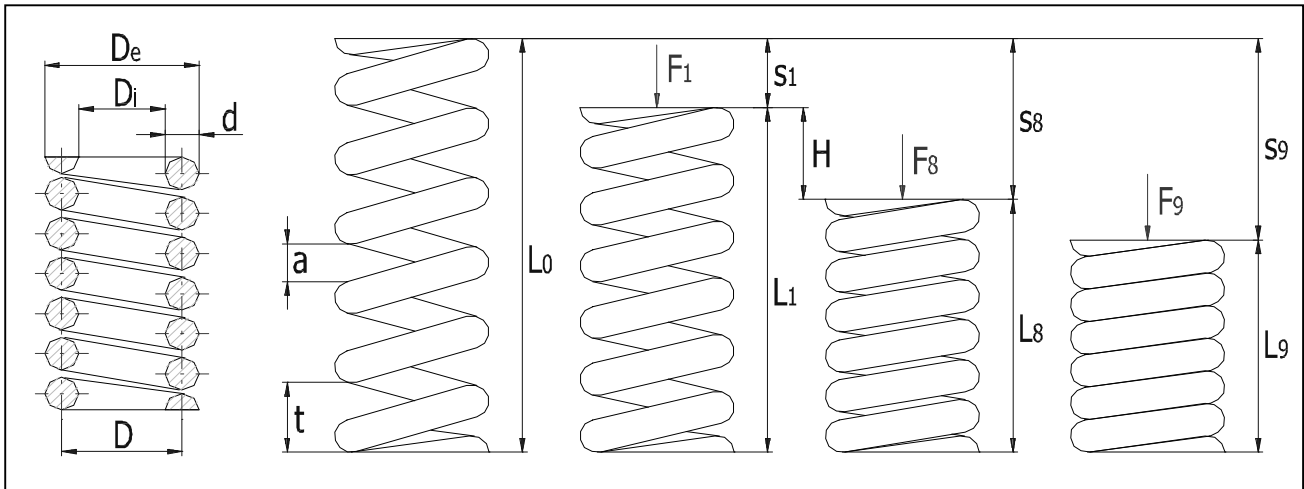
4.21 Spring deflection	s_8	20,51	[mm]
4.22 Spring length	L_8	32,01	[mm]
4.23 Spring working stroke	H	16,00	[mm]
4.24 Spring stress	τ_8	388,12	[MPa]

4.25 Parameters of spring limit state

4.26 Theoretic spring limit loading	F_9	47,16	[N]
4.27 Theoretic spring deflection / length	s_9 / L_9	30,42 22,10	[mm]
4.28 Theoretic stress	τ_9	575,58	[MPa]
4.29 Sum of min. permissible spaces between active coils	s_{amin}	5,804	[mm]
4.30 Minimum spring limit length	L_{minF}	27,90	[mm]

4.31 **Spring mechanical and physical properties**

4.32	Spring constant	k	1,55	[N/mm]
4.33	Spring deformation energy	W_8	0,33	[J]
4.34	Critical spring speed	v_k	5,41	[m/s]
4.35	Natural spring frequency	f	272,92	[Hz]
4.36	Developed wire length	l	573	[mm]
4.37	Spring weight	m	0,006	[kg]



4.38 **Spring strength check**

4.39	Curvature correction factor	K_s	1,0000	
4.40	Corrected stress of fully loaded spring	τ_{8C}	388,12	[MPa]
4.41	Permissible torsional stress	τ_A	1015	[MPa]
4.42	Level of safety		2,615	

4.43 **Check of buckling**

4.44	Permissible / actual max. working compression of spring		12,1 39,06	[%]
------	---	--	--------------	-----

4.45 **Strength check of a spring exposed to fatigue loading**

4.46	Curvature correction factor	K_f	1,1816	
4.47	Corrected stress of fully loaded spring	τ_{8C}	458,59	[MPa]
4.48	Fatigue strength for the given loading	τ_{max}	862	[MPa]
4.49	Level of safety		1,879	

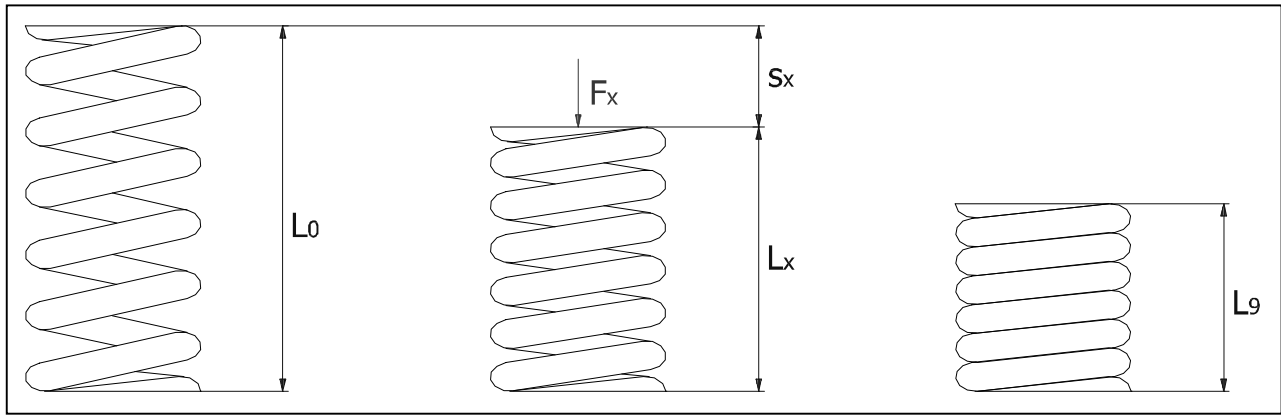
5.0 **Parameters of designed spring for specific working load or spring length.**

5.1 **Spring parameters for the given working loading**

5.2	Spring loading	F_x	250,0	[N]
5.3	Spring deflection	S_x	161,26	[mm]
5.4	Spring length	L_x	-108,74	[mm]
5.5	Spring stress	τ_x	3051,25	[MPa]

5.6 **Spring parameters for the given working length**

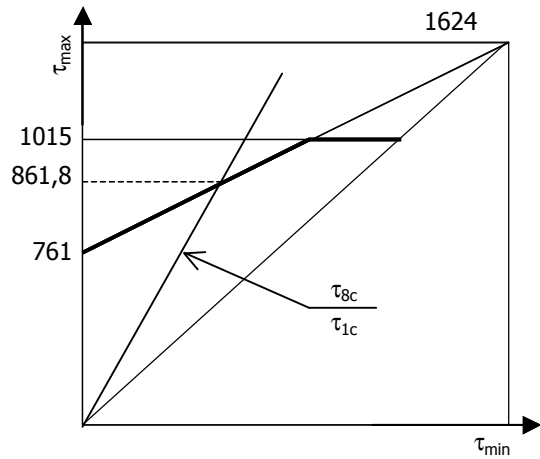
5.7	Spring length	L_x	60,00	[mm]
5.8	Spring deflection	S_x	-7,48	[mm]
5.9	Spring produced force	F_x	-11,60	[N]
5.10	Spring stress	τ_x	-141,53	[MPa]



6.0 Check of loading capacity of a spring exposed to fatigue loading.

- 6.1 Curvature correction factor
- 6.2 Corrected stress of preloaded spring
- 6.3 Corrected stress of fully loaded spring
- 6.4 Ultimate shear strength
- 6.5 Permissible torsional stress
- 6.6 Ultimate fatigue strength in shear
- 6.7 Fatigue strength by finite life
- 6.8 Fatigue strength for the given loading
- 6.9 Level of safety

K_f	1,1816	
τ_{1c}	100,95	[MPa]
τ_{8c}	458,59	[MPa]
S_{us}	1624	[MPa]
τ_A	1015	[MPa]
τ_e	548	[MPa]
τ_f	761	[Mpa]
τ_{max}	861,8	[MPa]
	1,879	



Supplements section

7.0 Spring check calculation.

8.0 Calculation of working forces of the spring.

8.1 Uploading of input data from main calculation

8.2 Parameters of working cycle


8.3 Fully loaded spring length	L_8	32,02	[mm]
8.4 Preloaded spring length	L_1	48,01	[mm]
8.5 Spring working stroke	H	15,99	[mm]

8.6 Spring dimensions

8.7	Mean spring diameter	D	10,49	[mm]
8.8	Wire diameter / from table	d	1,20 3,2 ▼	[mm]
8.9	Outer / inner spring diameter	D_e / D_i	11,69 9,29	[mm]
8.10	Spring index	c	8,74	
8.11	Number of active coils	n	10,50	
8.12	Free spring length	L_0	52,31	[mm]
8.13	Compression of min. / max. loaded spring	s_1 / s_8	4,30 20,29	[mm]
8.14	Theoretic spring limit length	L_g	15	[mm]
8.15	Spring loading			
8.16	Maximum working loading	F_8	33,0	[N]
8.17	Minimum working loading	F_1	7,0	[N]
8.18	Spring strength check			
8.19	Permissible torsional stress	τ_A	1025	[MPa]
8.20	Corrected stress of fully loaded spring	τ_{8c}	510,1	[MPa]
8.21	Level of safety		2,009	
8.22	Transfer of solution into main calculation			

9.0 Calculation of working lengths of the spring.

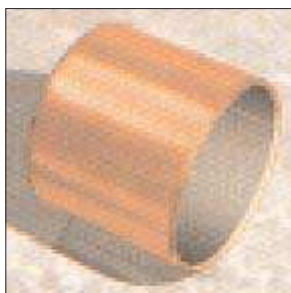
10.0 Graphical output, CAD systems

10.1	2D drawing output to:	DXF File ▼	
10.2	2D Drawing scale	Automatic ▼	
10.3	Spring length in the drawing and the model	75,00	
10.4	Text description (Information for BOM)		
	Row 1 (BOM attribute 1)	Compression spring	<input checked="" type="checkbox"/>
	Row 2 (BOM attribute 2)	D=10,53; d=1,3; n=15; L0=52,52	
	Row 3 (BOM attribute 3)	Stainless steel wire EN 10270-3-1.4568	
10.5	Table of parameters		

Capítulo 6

Anexo III(Catálogos)

DU™-B



CARACTERÍSTICAS

Idóneo para trabajo en seco, libre de mantenimiento.
También admite lubricación con aceite. No se recomienda lubricar con grasa.
Debido a su dorso de Bronce proporciona mejor resistencia a la corrosión que el DU.

MICROSECCIÓN



PTFE + Pb

Bronce sinterizado

Dorso de bronce

Propiedades	Unidad	Valor
Trabajo en seco		
Velocidad máx. deslizamiento	m/s	2,5
Factor PV máximo	N/mm ² ·m/s	1,8
Coefficiente de fricción	-	0,02 a 0,25
General		
Temperatura máxima	°C	280
Temperatura mínima	°C	-200
Carga estática máxima	N/mm ²	140
Carga dinámica máxima	N/mm ²	140
Rugosidad del eje Ra	µm	0,4
Dureza del eje	HB	>200

Condiciones operativas		
	Seco	Excelente
	Lubricado con aceite	Bueno
	Lubricado con grasa	No recomendado
	Agua	Bueno
	Otros fluidos	No recomendado

APLICACIONES

Automoción: Amortiguadores y columnas McPherson, bisagras de puertas y portones, columnas de dirección, embragues, guías de horquillas selectoras de caja de cambios, bombas de dirección, articulaciones de pedales, equipos ABS, etc

Industria: Equipos de elevación, bombas y motores hidráulicos, equipos neumáticos, equipos médicos, maquinaria textil, maquinaria agrícola, equipos de laboratorio, equipos de oficina, etc.

GAMA DE FABRICACIÓN ESTÁNDAR

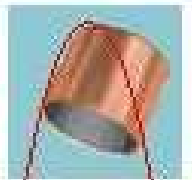


DENOMINACION	POSTULADOS DE FABRICACION	TEMP. °C mín. máx.	VELOCIDAD (m/s)	CARGA N/mm ²		FACTOR PV N/mm ² ·m/s	COEF. FRICCION	CONDICIONES OPERATIVAS						Nº
				ESTÁTICA	DINÁMICA			SECO	ACEITE	GRASA	AGUA	FLUIDOS P/CS	P/CS	

COJINETES PARA TRABAJAR SIN LUBRICACION



DUTM	Cojinetes cilindricos Cojinetes con valona Arcandelas Bandas	-200 a +280	2,5	250	140	1,8	0,02 a 0,25	MB	B	NI	NI	NI	NI	415
-------------	---	-------------------	-----	-----	-----	-----	-------------	----	---	----	----	----	----	-----



DUTM-B	Cojinetes cilindricos Cojinetes con valona Bandas	-200 a +280	2,5	140	140	1,8	0,02 a 0,25	MB	B	NI	B	NI	NI	421
---------------	---	-------------------	-----	-----	-----	-----	-------------	----	---	----	---	----	----	-----



DP4TM (1)	Cojinetes cilindricos Cojinetes con valona Arcandelas Bandas	-200 a +280	5	250	140	10	0,002	B	MB	B	NI	NI	NI	424
------------------	---	-------------------	---	-----	-----	----	-------	---	----	---	----	----	----	-----



DP20TM	Cojinetes cilindricos Cojinetes con valona Arcandelas	-200 a +200	2,5	250	140	1,4	0,13	MB	MB	B	NI	NI	NI	425
---------------	---	-------------------	-----	-----	-----	-----	------	----	----	---	----	----	----	-----



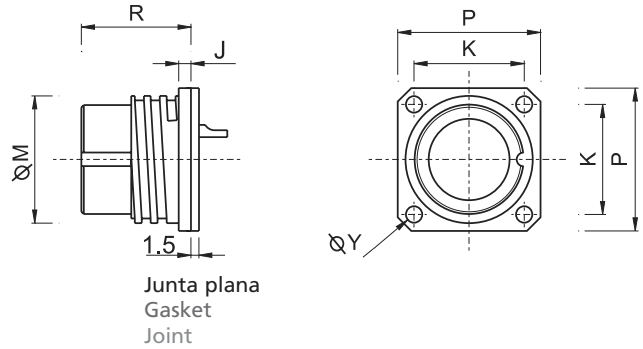
DH TM	Cojinetes cilindricos Cojinetes con valona Arcandelas Bandas	-200 a +280	2,5	250	140	1	0,14	B	MB	NI	NI	NI	NI	426
--------------	---	-------------------	-----	-----	-----	---	------	---	----	----	----	----	----	-----



DENVA BM	Cojinetes cilindricos Bandas	-150 a +350	1	260	130	1,5	0,08 a 0,15	B	B	B	B	B	M	427
-----------------	---------------------------------	-------------------	---	-----	-----	-----	-------------	---	---	---	---	---	---	-----

9 2 S

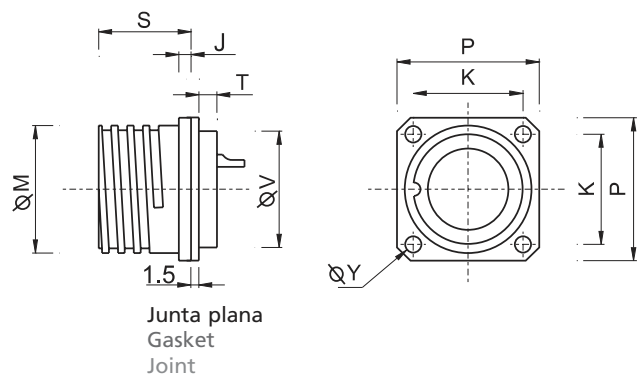
Base Hembra
Female Receptacle
Embase Femelle



	K	ØM	P	R	ØY	J
T-10	19	21	25	24	3,2	2,5
T-20	24	28	31	25,3	3,2	2,8
T-30	34	42	46	25,3	3,2	2,8
T-40	41	52	56	25,3	3,2	2,8

9 2 P

Base Macho
Male Receptacle
Embase Mâle



	K	ØM	P	S	ØV	ØY	J	T
T-10	19	21	25	17,5	16	3,2	2,5	5
T-20	24	28	31	20,5	25	3,5	2,5	4
T-30	34	42	46	20,5	35	3,5	2,8	4
T-40	41	52	56	20,5	45	3,5	2,8	4

Todas las cotas en mm

All dimensions in mm

Toutes les dimensions sont en mm



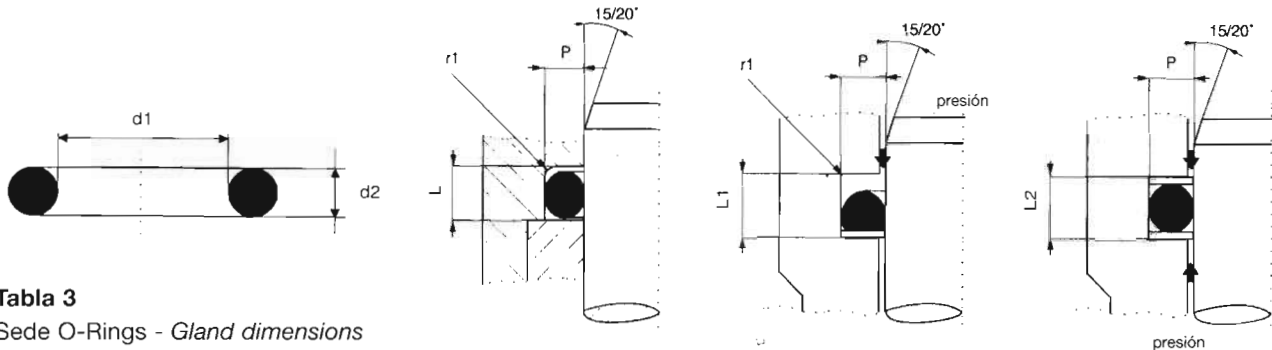


Tabla 3
Sede O-Rings - Gland dimensions

C/S d2 (mm)	Presión Pressure			Sin Back-Up No Back-Up 100 Bar máx.		Un Back-Up One Back-Up >100 Bar		Dos Back-Up Two Back-Up >100 Bar alternating		Radio Radius r1 (mm)
	Stat	Dynam.	Pneum	P (mm)	L (mm)	P (mm)	L1 (mm)	P (mm)	L2 (mm)	
1.00	x			0.70	1.40	-	-	-	-	020
1.50	x			1.14	2.40	-	-	-	-	030
1.60	x			1.21	2.40	-	-	-	-	0.30
1.78-1.80	x	x		1.49	2.50	1.50	4.16	1.50	6.16	0.40
1.78-1.80			x	1.58	2.50	-	-	-	-	0.40
1.90	x			1.40	2.60	-	-	-	-	0.40
1.90		x		1.55	2.60	1.55	4.00	1.55	5.40	0.40
2.00	x	x		1.68	2.80	1.70	4.20	1.70	5.60	0.40
2.40		x		1.80	3.30	2.05	4.70	2.05	6.10	0.50
2.40			x	2.16	3.30	-	-	-	-	0.50
2.40	x			1.90	3.20	-	-	-	-	0.50
2.50		x		2.12	3.50	2.15	4.90	2.15	6.30	0.50
2.50	x		x	2.28	3.50	-	-	-	-	0.50
2.62-2.65	x	x		2.25	3.25	2.28	4.65	2.28	6.50	0.60
2.62-2.65			x	2.36	3.25	-	-	-	-	0.60
2.70	x	x		2.30	3.60	2.30	5.00	2.30	6.40	0.60
2.95	x	x		2.20	3.90	2.50	5.30	2.50	5.30	0.60
3.00		x		2.58	4.10	2.60	5.50	2.60	6.90	0.60
3.00			x	2.72	4.10	-	-	-	-	0.60
3.00	x			2.45	3.80	-	-	-	-	0.60
3.10	x	x		2.50	4.10	2.70	5.50	2.70	6.90	0.60
3.50	x	x		2.65	4.60	3.05	6.00	3.05	7.40	0.60
3.53-3.55	x	x		2.70	4.80	3.10	6.20	3.10	7.60	0.80
3.53-3.55			x	3.21	4.40	-	-	-	-	0.80
3.60	x	x		2.80	4.80	3.15	6.20	3.15	7.60	0.80
4.00	x	x		3.46	5.40	3.51	6.80	3.51	8.20	0.80
4.50	x	x		3.50	5.80	4.00	7.50	4.00	9.20	0.80
5.00	x	x		4.45	6.70	4.46	8.50	4.46	10.30	0.80
5.00			x	4.65	6.70	-	-	-	-	0.80
5.30-5.33	x	x		4.72	6.45	4.75	7.66	4.75	10.26	1.20
5.30-5.33			x	4.85	6.45	-	-	-	-	1.20
5.70	x	x		4.60	7.20	5.00	8.90	5.00	10.60	1.20
6.00	x	x		5.06	7.60	5.12	9.40	5.12	11.20	1.20
6.00			x	5.30	7.40	-	-	-	-	1.20
6.99-7.00	x	x		6.05	8.75	6.10	10.12	6.10	13.55	1.50
6.99-7.00			x	6.22	8.75	-	-	-	-	1.50
8.40		x		7.65	11.10	7.68	13.30	7.68	15.50	1.50
8.40			x	7.85	11.10	-	-	-	-	1.50
8.40	x			7.35	9.10	-	-	-	-	1.50

SOPORTES EN FORMA 0



Los soportes forma 0 (también llamados soportes de baja fricción por su característica de muelle relativamente blando) están formados por un anillo de goma unido a unas placas con tornillos de fijación. Este diseño permite amortiguar oscilaciones de suspensión en el campo de bajas frecuencias y pequeñas cargas. Esto se presenta muy a menudo en la construcción de instrumentos y aparatos de medición.

Para la versión estándar (versión de catálogo) se emplea caucho natural altamente elástico. Para estas aplicaciones puede ser conveniente emplear mezclas de alto poder de amortiguación. A petición, pueden suministrarse los soportes forma 0 en mezclas especiales.

Los soportes forma 0 tienen distintas características de muelle en las tres direcciones posibles de deformación (ver diagrama). Por tanto a una misma carga de cizallamiento se obtendrá mayor deflexión en dirección X que en dirección Y, obteniéndose menor deflexión si esta misma carga es a compresión Z. Debido a esto y según la colocación del soporte en forma 0, se puede conseguir un aislamiento óptimo de las vibraciones.

MATERIALES

Versión estándar. Caucho Natural (NR) de 60 Shore A de dureza.
 Versión especial. Otros elastómeros y durezas bajo demanda

APLICACIÓN

Se utilizan para la absorción de vibraciones en maquinaria de instrumentación, maquinaria eléctrica o electrónica y aparatos de precisión. Ofrecen un excelente aislamiento de vibraciones frente a golpes o vibraciones pasivas.

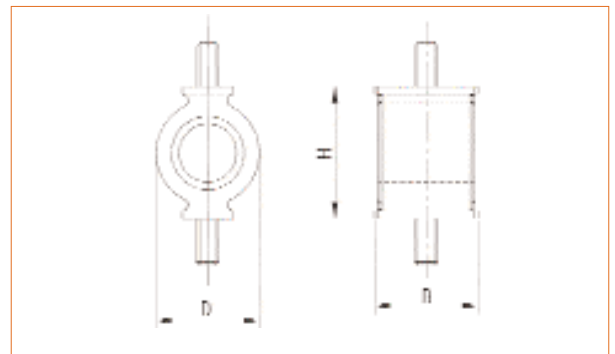


Fig. 13 Soporte forma 0

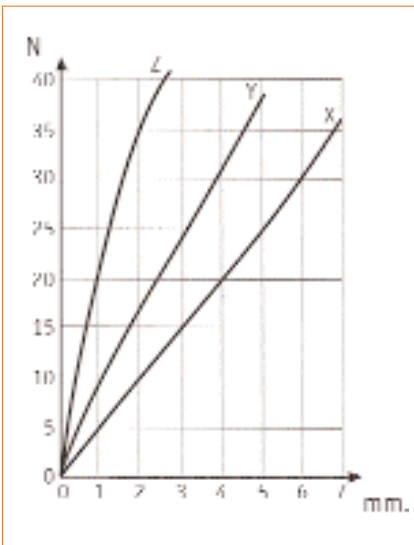


Fig. 14 Soporte forma 0 5518001

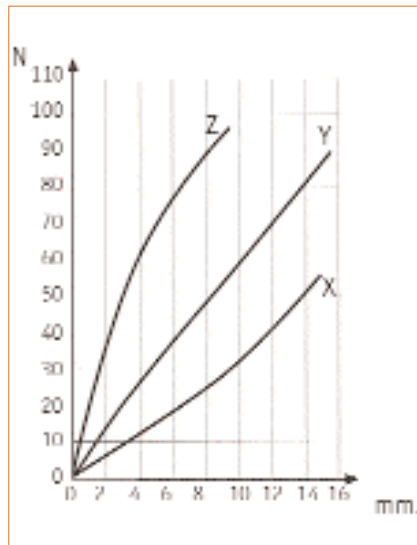


Fig. 15 Soporte forma 0 5518002

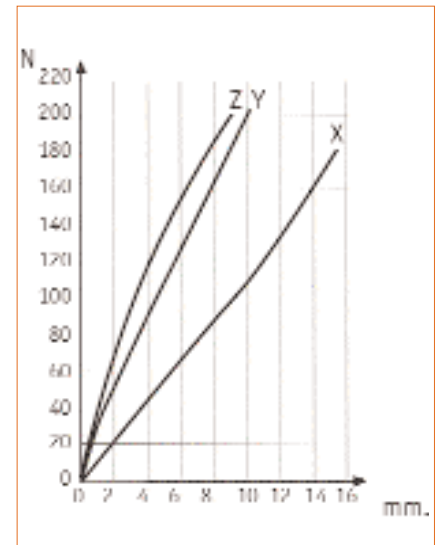


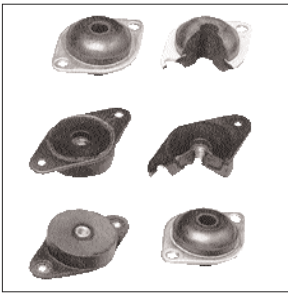
Fig. 16 Soporte forma 0 5518003

LISTA DE MEDIDAS



Referencia	Material	D mm.	H mm.	B mm.	Rosca	Valores nominales máximos		Código
						F _x N	S _x máx. mm.	
5518001	60 NR 11	14	19	15	M 4 x 7	25	5	477.091
5518002	60 NR 11	25	30	22	M 5 x 10	40	12,0	477.109
5518003	60 NR 11	36	38	28	M 6 x 9,5	160	14,0	477.216

SOPORTES PARA INSTRUMENTACIÓN



Los soportes para instrumentación son adecuados para aislamientos de vibraciones en maquinaria electrónica, aparatos de medición y aparatos de precisión.

A menudo se exige de este soporte el poder de absorber vibraciones o choques introducidos a través de los puntos de sujeción. Por tanto, estos soportes sirven como protección de instrumentos sensibles contra choques en aplicaciones móviles.

Otra posibilidad es el aislamiento de ruidos, por ejemplo de pequeños motores eléctricos o bombas que deben fijarse sobre bancadas susceptibles de crear resonancia.

Los soportes para instrumentación están diseñados para poder absorber cargas a compresión, tracción y cizallamiento.

MATERIALES

Versión estándar. Caucho Natural (NR) de 40, 50 ó 60 Shore A de dureza

Versión especial. Otros elastómeros y durezas bajo demanda

APLICACIÓN

El soporte 3918022 se utiliza normalmente para la eliminación de ruidos en grupos montados por suspensión del mismo. El soporte 3918023 puede emplearse en un gran número de aplicaciones ya que es relativamente blando en las tres direcciones de deformación, compresión y cizallamiento. Mediante un montaje adecuado (ver figura 12) se puede conseguir una alta seguridad frente a la rotura.

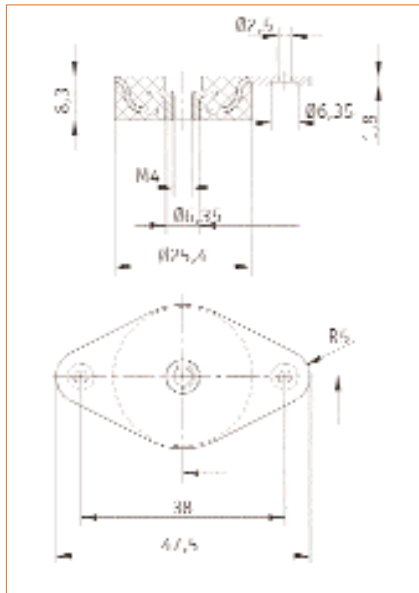


Fig. 10 Soporte 3918 022

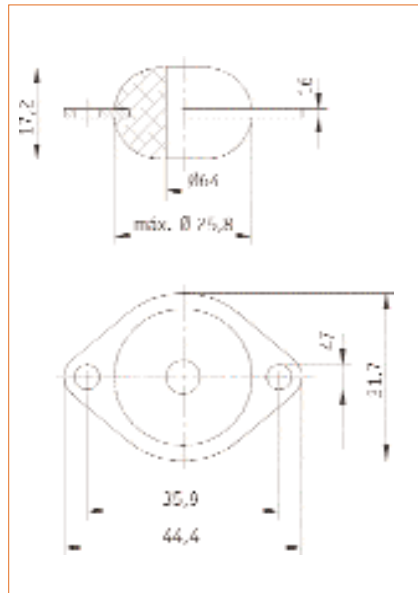


Fig. 10 Soporte 3918 023

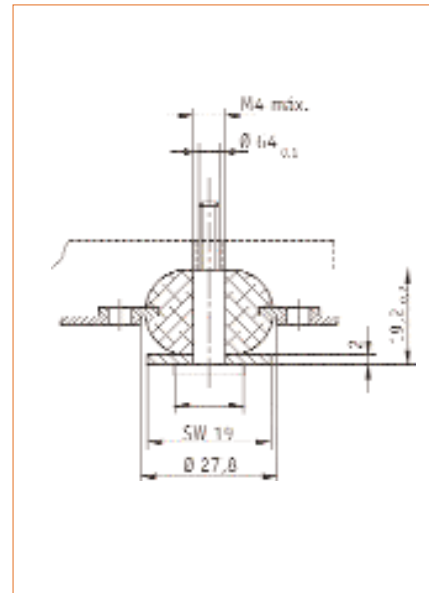
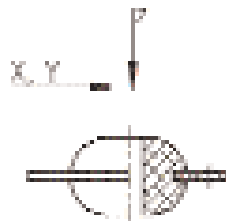


Fig. 12 Recomendaciones de montaje para 3918 023 con bulón 4018 042

LISTA DE MEDIDAS



Referencia	Material	Valores nominales máximos					Código
		F _Z máx. N	S _Z máx. mm.	C _x N/mm.	C _y N/mm.	C _z N/mm.	
3918022	40 NR 11	150	0,5	300(1)	300 (1)	300	478.925
3918023	40 NR 11	110	2	30	30	35 (2)	478.933
3918023	50 NR 11	160	2	45	45	50 (2)	478.941
3918023	60 NR 11	240	2	65	65	75 (2)	478.958

1) Módulo tangencial a S=0,5 mm. 2) Módulo tangencial S=2 mm.



Telstar® Vacuum Pump Top-3

Laboratory Vacuum Pump

Oil sealed rotary vane vacuum pump (two stages) manufactured with the latest technology

Design features:

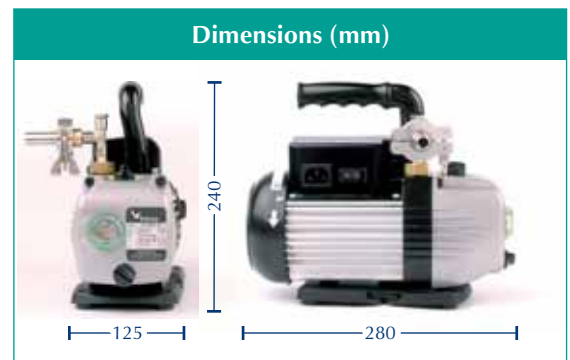
- **Motor:** Thermally protected. Capacitor protected in plastic enclosure. Independent cable.
- **Integrated Gas Ballast valve:** Helps keep the pump oil clean for a longer time.
- **Oil forced lubrication:** Useful for long time operation.
- **Integral anti suck back valve:** A safety feature prevents pump oil from being sucked into the system when the pump is off.
- **Fully tested:** Each pump is individually tested and inspected.
- **New look:** A compact construction, simple design and easy operation. easy operation.
- **Ergonomic handle:** Easy to carry and use.



Technical specifications:

FEATURES	UNITS	Top - 3
Free air displacement at 50/60 Hz	m ³ /h	3/3.6
Number of stages		2
Ult.partial pressure without Gas Ballast (PNEUROP)	mbar	<7*10 ⁻⁴
Intake fittings		KF 16
Motor size	kW	0,18
Voltage 230V ¹ 50/60 Hz	rpm	2800/3360
Weight (with oil)	kg	7
Oil capacity	litres	0,3
Noise level 50/60 Hz	dB	65/70
Low operation temperature	°C	5
High operation temperature	°C	40

¹Standard. Other voltages available upon request



Josep Tapiolas, 120
08226 Terrassa (Spain)
T. +34 937 361 600
F. +34 937 859 342



www.telstar-vacuum.com

CARACTERÍSTICAS GENERALES PLÁSTICOS TÉCNICOS



TABLA DE CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y TÉRMICAS DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS

	Unidad	PA6	PA 66	PA 4.6	PA 66 -GF30	PA66 + MoS2	PA66 + Aceite	POM C	POM H	PET	PET TX	PEEK 1000	PEEK HPV	PEEK GF30	PEEK CA30	
Color		Natural (blanco) / Negro	Natural (blanco) / Negro	Marrón rojizo	Negro	Gris oscuro	Verde	Natural (blanco) / Negro	Natural (blanco) / Negro	Natural (blanco) / Negro	Gris palido	Natural (marrón grisáceo) / negro	Negro	Marrón grisáceo	Negro	
Densidad	g/cm3	1,14	1,14	1,18	1,29	1,16	1,135	1,41	1,43	1,39	1,44	1,31	1,45	1,51	1,41	
Absorción de agua																
tras 24/96h de inmersión a 23°C	mg	86/168	40/72	90/180	30/56	52/98	44/83	20/37	18/36	6/13	5/11	5/10	4/9			
idem	%	1,28/2,5	0,6/1,7	1,3/2,6	0,39/0,74	0,76/1,43	0,66/1,24	0,24/0,45	0,21/0,43	0,07/0,16	0,06/0,13	0,06/0,12	0,05/0,11			
hasta saturación en aire a 23°C / 50% HR	%	2,6	2,4	2,8	1,7	2,4	2	0,2	0,2	0,25	0,23	0,2	0,14	0,14	0,14	
hasta saturación en agua a 23°C	%	9	8	9,5	5,5	6,7	6,3	0,85	0,85	0,5	0,47	0,45	0,3	0,3	0,3	
Propiedades térmicas																
Temperatura de fusión	°C	220	255	295	255	220	220	165	175	255	255	340	340	340	340	
Conductividad térmica a 23°C	W/(K·m)	0,28	0,28	0,3	0,3	0,3	0,28	0,31	0,31	0,29	0,29	0,25	0,24	0,43	0,92	
Coeficiente de dilatación																
media entre 23 y 60°C (para PEEK entre 23 y 100°C)	m/(m·K)	90x10 ⁻⁶	80x10 ⁻⁶	80x10 ⁻⁶	50x10 ⁻⁶	80x10 ⁻⁶	80x10 ⁻⁶	110x10 ⁻⁶	95x10 ⁻⁶	60x10 ⁻⁶	65x10 ⁻⁶	50x10 ⁻⁶	30x10 ⁻⁶	30x10 ⁻⁶	25x10 ⁻⁶	
media entre 23 y 100°C (para PEEK entre 23 y 150°C)		105.1x10 ⁻⁶	95x10 ⁻⁶	90x10 ⁻⁶	60x10 ⁻⁶	90x10 ⁻⁶	90x10 ⁻⁶	125x10 ⁻⁶	110x10 ⁻⁶	80x10 ⁻⁶	85x10 ⁻⁶	50x10 ⁻⁶	30x10 ⁻⁶	30x10 ⁻⁶	25x10 ⁻⁶	
Máxima temperatura de servicio en aire																
para cortos periodos de tiempo	°C	160	180	200	240	170	165	140	150	160	160	310	310	310	310	
en continuo 5000 / 20000 h	°C	85/70	95/80	155/135	120/110	105/90	105/90	115/100	105/90	115/100	115/100	250	250	250	250	
Mínima temperatura de servicio	°C	-40	-30	-40	-20	-30	-20	-50	-50	-20	-20					
Inflamabilidad																
Índice de Oxígeno (ISO 4589)	%	25	26	24	-	25	-	15	15	25	25	35	43	40	40	
Conforme a UL 94 (espesor 3 / 6 mm.)	HB/HH	HB/HH	HB/V2	HB/HH	HB/HH	HB/HH	HB/HH	HB/HH	HB/HH	HB/HH	HB/HH	V-0/V-0	V-0/V-0	V-0/V-0	V-0/V-0	
Propiedades mecánicas a 23°C																
Tracción																
Límite elástico / Límite de rotura (material seco)	Mpa	76/-	90/-	100/-	-/100	78/-	70/-	68/-	78/-	90/-	-/76	110/-	-/75	-/90	-/130	
Límite elástico / Límite de rotura (material en 50%HR)	MPa	45/-	55/-	55/-	-/75	50/-	45/-	68/-	78/-	90/-	-/76					
Elongación de rotura (material seco)	%	>50	>40	25	5	25	25	35	35	15	7	20	5	5	5	
Elongación de rotura (material en 50%HR)	%	>100	>100	>100	12	>50	>50	35	35	15	7					
Módulo de elasticidad (material seco)	MPa	3250	3450	3300	5900	3300	3000	3100	3600	3700	3450	4400	5900	6300	7700	
Módulo de elasticidad (material en 50%HR)	MPa	1400	1650	1300	3200	1600	1450	3100	3600	3700	3450					
Compresión																
Esfuerzo a 1 / 2 / 5 % deformación (mat. seco)	MPa	24/46/ 80	25/49/92	23/45/ 4	28/55/90	25/49/88	22/43/79	19/35/67	22/40/75	26/51/103	24/47/95	29/57/	34/67/	41/81/	49/97/	
Dureza Rockwell																
		M 85	M 88	M 92	M 76	M 84	M 82	M 84	M 88	M 96	M 94	M 105	M 85	M 99	M 102	

F



CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Tipo	DIN ISO 3506	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	Ni %	Otros %
Austenítico	(A2) 1.4301	0,1	1,0	2,0	17,5÷19,5	--	8÷10,5	--
Austenítico	(A4) 1.4401	0,08	1,0	2,0	16÷18,5	2,0÷3,0	10÷15	--
Ferrítico	(F1) 1.4016	0,12	1,0	1,0	15÷18	--	1,0	--
Martensítico	(C1) 1.4006	0,09÷0,15	1,0	1,0	11,5÷14	--	1,0	--

Otros tipos de acero sobre demanda

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Tipo	DIN ISO 3506	Clase de Resistencia	Rm mín N/mm ²	Rp (0.2) mín N/mm ²	AL mín
Austenítico	(A2) 1.4301	50	500	210	0,6 d
Austenítico	(A4) 1.4401	70	700	450	0,4 d
		80	800	600	0,3 d
Ferrítico	(F1) 1.4016	45	450	250	0,2 d
		60	600	410	
Martensítico	(C1) 1.4006	50	500	250	0,2 d
		70	700	410	0,2 d

Rm = Carga de Rotura Rp = Limite elástico AL = Alargamiento mínimo

VALORES CALCULADOS DE PAR DE APRIETE, CARGA DE ROTURA Y LÍMITE ELÁSTICO

	Clase de resistencia	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20
Par de Apriete Recomendado (Nm)	80	1,2	2,7	5,4	9,3	22	44	76	121	187	364
	70	0,9	2	4,1	7	17	33	57	91	140	273
Carga de Trabajo (KN)	80	2	3,4	5,5	7,8	14,3	22,6	32,8	44,8	61,2	95,5
	70	1,5	2,6	4,2	5,9	10,7	17	24,7	33,7	46,9	71,7
Carga de Rotura (KN)	80	4	7	11,3	16,1	29,2	46,6	67,4	92	125,6	196
	70	3,5	6,1	9,9	14	25,6	40,6	59	80,5	109,9	171,5
Límite Elástico (KN)	80	3	5,3	8,5	12	21,9	34,8	50,5	69	94,2	147
	70	2,2	3,9	6,4	9	16,4	26,1	37,9	51,8	70,6	110,4

Nota: Los valores de par no han sido verificados por Inox Ibérica, y por lo tanto no podemos hacernos responsables de su utilización. Debido a las variaciones en el coeficiente de fricción entre las roscas y la cara del tornillo, recomendamos el consejo de un experto cualificado.

PROPIEDADES FÍSICAS A 20° C

	AISI	Densidad		Resistividad	Coeficiente de expansión		Conductividad térmica		Calor específico	
		Kg/dm ³	lb/in ³	10 ⁻⁶ Ωm	10 ⁻⁶ /°C	10 ⁻⁶ /°F	W/m°C	BTU/ft°F	J/Kg°C	BTU/lb°F
Austeníticos	304	7,97	0,29	0,72	16,5	9,4	15	8,7	500	0,12
	316	7,97	0,29	0,75	16,0	9,2	13,5	7,8	500	0,12
Martensítico	410	7,73	0,28	0,60	11,0	6,1	26	14,5	460	0,11
Ferrítico	430	7,73	0,28	0,60	11,0	6,1	22	12,7	460	0,11

TOLERANCIAS Y CONDICIONES TÉCNICAS DE SUMINISTRO

Normas	Descripción
DIN / ISO 4759	Tolerancias para tornillos y tuercas con Ø rosca de 1,6 a 150 mm.
DIN / ISO 3269	Ensayo de recepción.
DIN / ISO 3506	Condiciones técnicas de suministro.
DIN / ISO 8992	Exigencias generales para tornillos y tuercas.
DIN 267	Tolerancias y clases de resistencia. Parte 2 y 3.