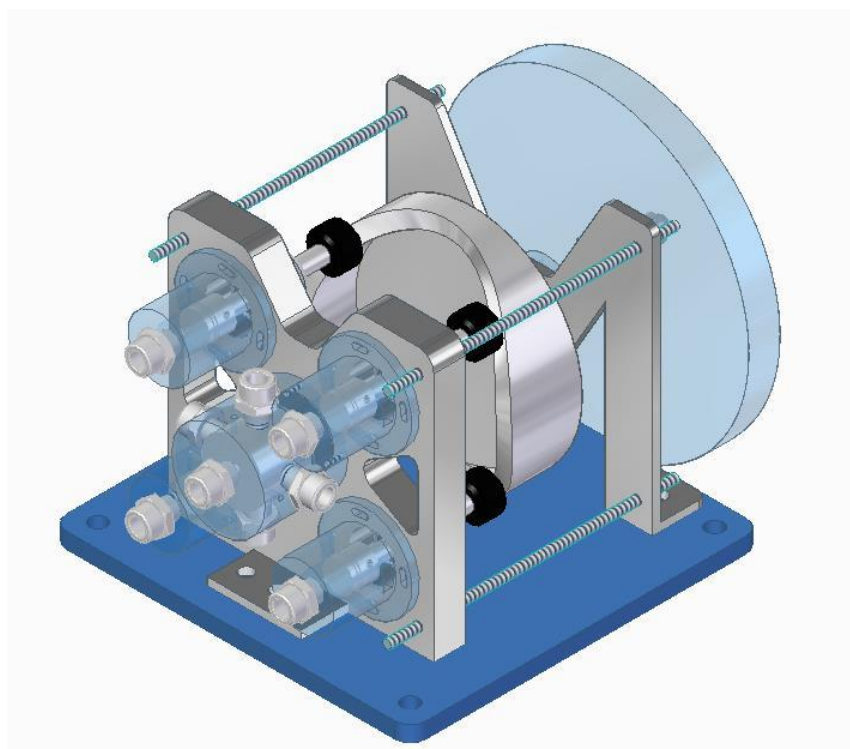


# INFORME DISEÑO

## MOTOR.OLA



Inés Gadea Errachidi	18122
Manuel Candalija Pontijas	19054
Esteban Labrador de Fuente	19192
Javier Barbero Angulo	19028
Alberto Martínez Mena	19238
Antonio Treilhou Yann-Baptiste	M23185



## Contenido

1. Introducción.....	3
1.1. Selección del expansor.....	3
1.2. Fallos diseños anteriores.....	4
1.2.1. Desalineamiento.....	4
1.2.2. Fugas.....	5
1.2.3. Guiadores.....	5
1.3. Propuestas de mejora.....	5
2. Diseño de concepto.....	6
2.1. Suposiciones iniciales.....	6
2.2. Ciclo termodinámico.....	7
2.2.1. Ciclo termodinámico teórico.....	7
2.2.2. Programación ciclo termodinámico.....	8
2.3. Estudio paramétrico.....	10
2.4. Parámetros finales.....	14
2.5. Leva.....	14
2.6. Volante de inercia.....	15
3. Diseño mecánico.....	17
3.1. Admisión.....	17
3.1.1. Carcasa de la válvula.....	17
3.1.2. Cuerpo de la válvula.....	18
3.2. Conjunto cilindros.....	19
3.2.1. Cilindros.....	19
3.2.2. Pistones.....	20
3.2.3. Bielas.....	21
3.2.4. Seguidor esférico.....	21
3.2.5. Arandela de sujeción de los rodamientos lineales.....	22
3.3. Soporte de la válvula y los cilindros.....	22
3.4. Conjunto leva.....	23
3.4.1. Brida de sujeción para la leva.....	23
3.4.2. Leva.....	24
3.5. Eje.....	24
3.6. Soporte eje.....	25
3.6.1. Brida sujeción rodamiento.....	25
3.6.2. Soporte.....	25
3.7. Base del conjunto.....	26

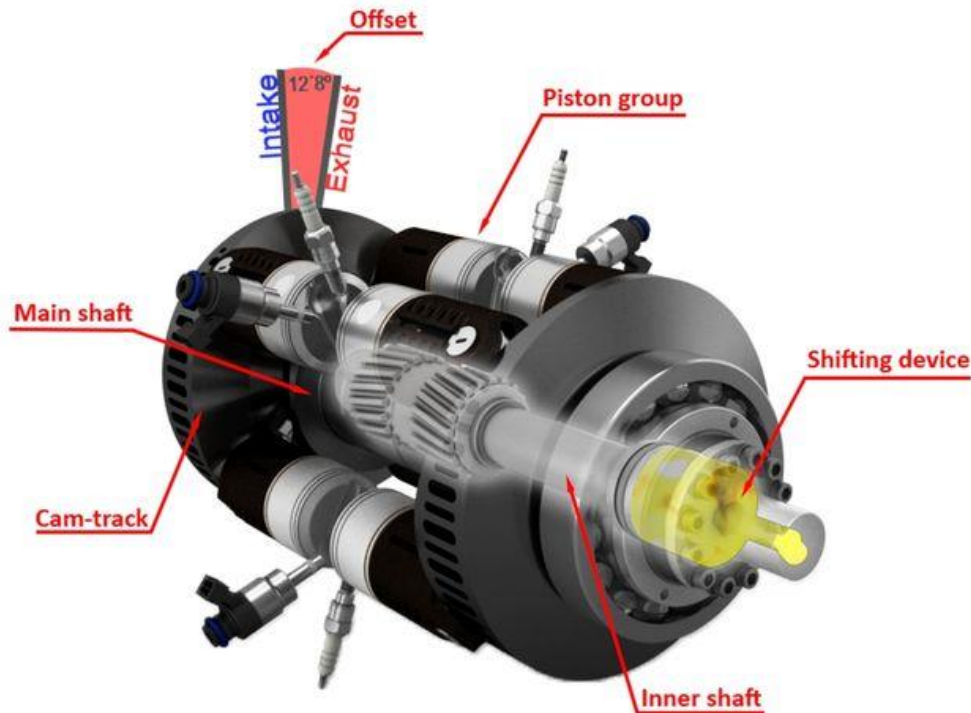
3.8. Montaje.....	26
4. Presupuesto .....	27
4.1. Coste piezas a fabricar.....	27
4.2. Coste de elementos normalizados .....	27
5. Planificación.....	29
6. Anexo: índice de ilustraciones. ....	30
7. Anexo: planos.....	31

# 1. Introducción.

## 1.1. Selección del expansor.

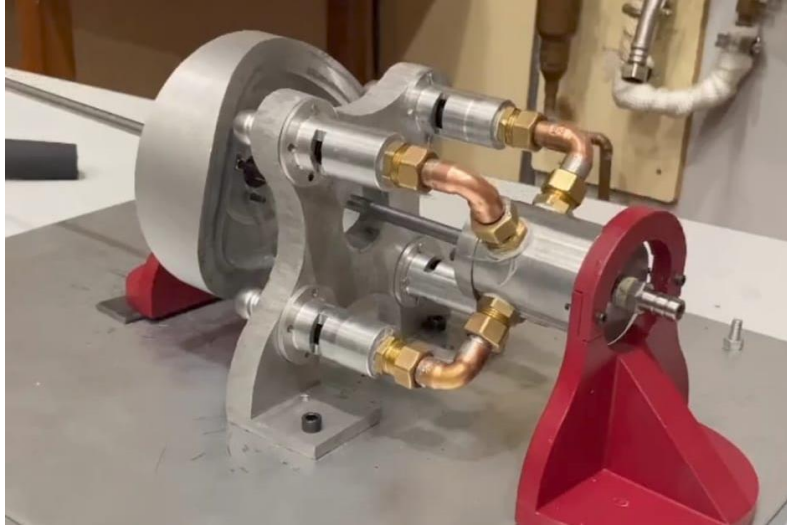
El equipo Motorola ha seleccionado el proyecto para la asignatura de Ingenia MotorGEN 2022/23, cuyo propósito es desarrollar, construir y poner en funcionamiento un motor con una apariencia y un funcionamiento distintos a los mecanismos convencionales. En este contexto, Motorola se origina a partir del interés en aplicar aspectos innovadores de motores de combustión existentes en un expansor térmico junto al interés añadido de lograr su funcionamiento tras tres años consecutivos de intentos.

En relación con el modelo de referencia principal para este proyecto, este es el patentado por INNengine. Este modelo consiste en dos motores opuestos de dos tiempos con una disposición de 4 cilindros agrupados de dos en dos, ocupando un espacio de 500 cm<sup>3</sup>. Este diseño tiene la capacidad de lograr un rendimiento superior en un espacio reducido, proporcionando así una alta potencia específica. Además, se destaca por la mínima generación de vibraciones durante su funcionamiento.



## 1.2. Fallos diseños anteriores.

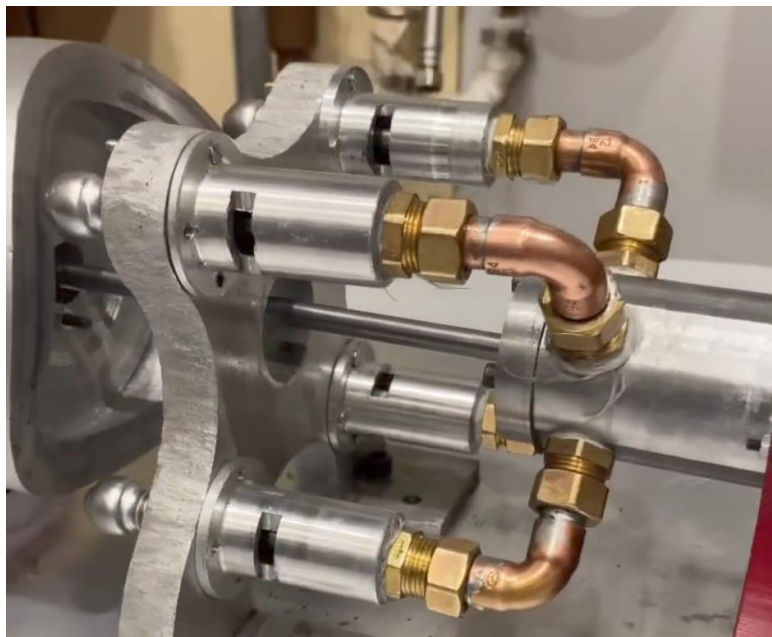
Como ya se ha indicado, parte del motivo de la elección del modelo es lograr su funcionamiento tras 2 intentos de dos años seguidos diferentes. El no funcionamiento de dicho modelo se debe a diferentes factores que se van a tratar a continuación:



*Ilustración 1. Modelo del motor curso 2022-2023*

### 1.2.1. Desalineamiento

En primer lugar, en modelos anteriores se puede observar un no despreciable ángulo de desviación respecto de la perpendicular del eje del expansor. El origen de ello se debe a diferentes motivos, pero principalmente se debe a las conexiones entre la válvula de alimentación y los cilindros. Dichas conexiones se realizan mediante uniones rígidas soldadas. Al ser soldadas, es casi imposible lograr la perpendicularidad entre el eje y los cilindros, produciendo un giro no colineal entre el eje y la leva movida por los pistones (dentro de los cilindros).



*Ilustración 2. Conexiones rígidas del motor 2022-2023*

### **1.2.2. Fugas**

Por otro lado, en la válvula de alimentación hay presentes fugas que producen la alimentación de los 4 cilindros constantemente. Esto produce que los cuatro pistones estén extendidos constantemente sin producir el movimiento acorde a la leva.

### **1.2.3. Guiadores**

Por consecuencia directa de la no perpendicularidad, hay guiadores a los que se le incluyeron arandelas para lograr el contacto con la leva. Sin embargo, esto produce la no fijación de los guiadores a la biela del pistón, produciendo un contacto inconsistente y débil con la leva.



*Ilustración 3.. Guiadores ajustados con arandelas motor 2022-2023*

## **1.3. Propuestas de mejora.**

El diseño de este año estará centrado en corregir los fallos de años anteriores, consiguiendo así un mejor modelo.

El primer cambio será emplear latiguillos flexibles que nos permitan un ajuste más cómodo y exacto. El uso de estos latiguillos puede acarrear un aumento en las pérdidas de carga pero consideramos que es prioritario conseguir un correcto alineamiento del eje con todas las partes del expansor.

El segundo cambio y el más relevante será en la válvula, buscando un diseño que nos permita controlar la salida de las fugas que tengamos en el interior de la válvula, para impedir que los cuatro cilindros estén en la etapa de expansión a la vez. Además, emplearemos un lubricante graso para limitar aún más estas fugas.

Por último, buscaremos unos seguidores de bolas de mejor calidad para asegurar el buen contacto entre los pistones y la leva.

## 2. Diseño de concepto.

Durante este apartado se va a abordar el diseño termodinámico a partir del cual, mediante el uso de diferentes variables conocidas como la presión de admisión o su temperatura, se hallarán los diferentes parámetros necesarios para realizar el diseño mecánico. A continuación, se mostrarán las diferentes suposiciones iniciales que se utilizaron.

### 2.1. Suposiciones iniciales.

En primer lugar, el fluido que se utilizará para alimentar la máquina y producir los diferentes movimientos es aire. Como primera suposición, se tomará el aire como gas ideal, y por ello se utilizará la siguiente relación.

$$\rho = \frac{p}{R * T} \quad 1$$

Se supone que no existen fugas entre el conducto de admisión y la entrada a los cilindros, por ello, el caudal que entra por el conducto de admisión se reparte íntegramente entre los dos cilindros abiertos en ese preciso momento, siendo por tanto la relación entre la cantidad de masa que entra en cada cilindro por ciclo y el caudal másico de aire:

$$\dot{m} = m_{ciclo \ y \ cilindro} * z * n \quad 2$$

Siendo “z” el número de cilindros del motor, que en este caso será  $z = 4$ , y, por otro lado, “n” es el régimen de giro inicial supuesto, en este caso,  $n = 1000$  rpm.

Considerándose el llenado de los cilindros ideal, es decir, sin fugas tanto en la admisión como entre el pistón y el cilindro, dicha masa introducida en los cilindros por ciclo también se puede expresar como;

$$m_{ciclo \ y \ cilindro} = \frac{\pi * D^2}{4} * s_{adm} * \rho \quad 3$$

Siendo,  $s_{adm}$  la longitud de la carrera durante la cual se produce la fase de admisión, siendo, por lo tanto,  $s_{adm} = s * \%adm$ ;  $\%adm$ : porcentaje de la carrera donde acaba la admisión. Por otro lado, D se trata del diámetro del pistón o interior del cilindro.

Si introducimos la relación entre la velocidad media del pistón  $c_m$  y la velocidad de rotación n, se podrá hallar una relación a partir de la cual podemos iterar el diámetro del pistón, parámetro inicial a partir del cual comenzar el diseño mecánico.

$$c_m = 2 * s * n \quad 4$$

$$\dot{m} = \frac{\pi * D^2}{4} * s * \%adm * \rho * z * n \quad 5$$

$$\dot{m} = \frac{\pi * D^2}{8} * \%adm * \rho * z * c_m \quad 6$$

Sustituyendo  $z = 4$  y despejando D en función del resto de parámetros:

$$D = \sqrt{\frac{2 * \dot{m}}{\pi * c_m * \%adm * \rho}} \quad 7$$

A partir de (7), y estableciendo una velocidad media del pistón objetivo, teniendo el caudal másico de aire, que es dato, se podrá despejar el diámetro del pistón.

## 2.2. Ciclo termodinámico.

### 2.2.1. Ciclo termodinámico teórico.

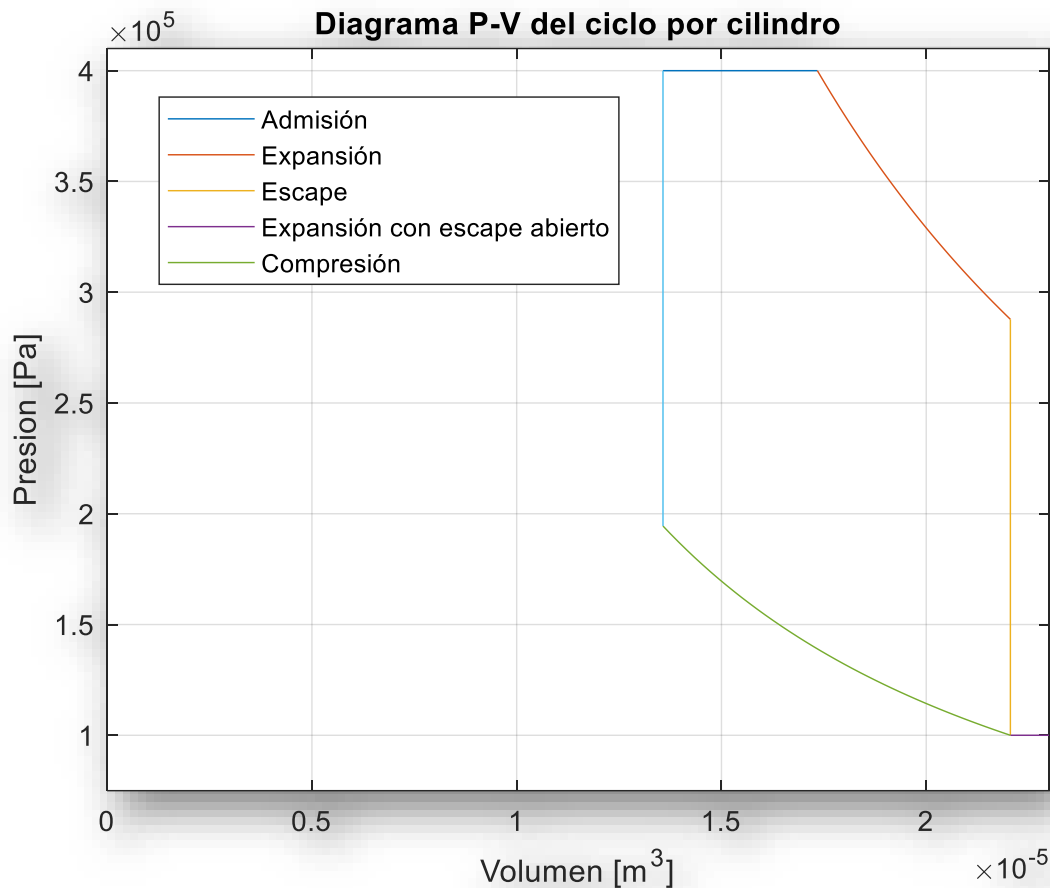


Ilustración 4: Diagrama P-V

En esta figura se puede ver el ciclo termodinámico teórico del expansor térmico que se obtendrá a partir de los parámetros sacados durante el “estudio paramétrico”. Las distintas etapas son las siguientes;

1. **Admisión;** Durante esta etapa, el pistón comienza en PMS, al haber finalizado la compresión quedando una presión por encima del bar de la atmósfera, pero aún muy por debajo de los 4 bar de admisión. Esto se debe al volumen muerto que más tarde se tratará pero que penaliza esa fase de compresión por lo que la admisión será un poco más complicada respecto del caso ideal. Por ello, comienza en PMS el pistón, y en el interior del cilindro se produce un rápido aumento de la presión hasta los 4 bar de admisión (esta parte si se representase de forma fidedigna, estaría consumiendo parte de la carrera de la isóbara), seguido por una isóbara en la que entra masa desde la admisión al interior del cilindro a presión y temperatura constantes hasta  $\%adm = 40\%$ , momento en el que se cierra la admisión.



2. **Expansión;** Tras el cierre de la admisión, el pistón continúa bajando, aumentando el volumen de estancia de la masa. Por ello se estará produciendo una expansión politrópica con un coeficiente politrópico que se toma como  $k=1.37$ . Esta etapa evoluciona hasta un porcentaje de la carrera  $\%esc = 90\%$ . Dicho porcentaje de la carrera es donde empieza la siguiente etapa.
3. **Escape;** En este caso el escape es por lumbrera, por ello,  $\%esc = 90\%$  proporciona de forma inmediata la posición de dicha lumbrera en el cilindro. De forma teórica el escape por lumbrera se produce de forma instantánea, no obstante, lo anterior dista bastante de la realidad, pudiendo aproximar dicho escape a una exponencial (no se representa por efectos prácticos de esquematización ya que dicha exponencial es prácticamente una recta vertical).
4. **Expansión con escape abierto;** Al descargar el fluido interior prácticamente de forma instantánea, se produce durante unos instantes de tiempo que el pistón continúa bajando, pero a presión constante e igual a la atmosférica. Al tratarse de una etapa que no produce trabajo, interesará minimizarla, para ello habrá que calcular cuánto es el porcentaje de la carrera mínimo para que el fluido interior pueda escapar.
5. **Compresión:** De nuevo considerada politrópica. Se produce desde PMI hasta PMS, quedando al final de esta el volumen muerto y por lo tanto penalizando la presión alcanzada durante esta fase. Cuanto menor presión se alcance, más trabajo deberá invertir la fase de admisión para igualar la presión del interior del cilindro a los 4 bar, y con ello menor trabajo de ciclo se tendrá.

Este ciclo teórico se trata de una aproximación a la realidad como ya se indicó, que facilita el estudio paramétrico siendo representación esquemática del ciclo real que obtendrá el expansor, en el que las suposiciones mencionadas no serán válidas. La suposición inicial de ausencia de fugas tampoco se cumplirá, aunque se tratará de minimizar, y habrá pérdidas de carga en las conexiones entre el compresor anterior y la admisión de la máquina, por lo que el aire llegará a menor presión y temperatura de la indicada.

### ***2.2.2. Programación ciclo termodinámico.***

Se ha creado un archivo de MATLAB en el que a partir de 4 variables de entrada “objetivo”: régimen ( $n$ ), relación carrera-diámetro ( $rsD$ ), porcentaje de la carrera en el que se cierra la admisión ( $adm$ ) y porcentaje de la carrera en el que se abre el escape ( $esc$ ). Se calculan los parámetros de diseño que necesita el expansor para funcionar con un caudal de entrada de  $m_{punto} = 0.5$  g/s (que es el caudal medio que entra por los cilindros en cada ciclo) a  $T_1 = 150$  °C y  $P_1 = 4$  bar. A continuación, se explican detalladamente los cálculos realizados.

```

1  z=4; % nº de cilindros
2  cm=1; %velocidad media del pistón
3  rsD=1.5; %relación carrera - diámetro
4  mpunto=0.5*10^-3; %caudal másico de aire (Kg/s)
5  p_adm=4*10^5; %presión de admisión
6  T_adm=150+273; %temperatura de admisión
7  R=287; %constante de los gases
8  rho=p_adm/(R*T_adm); %densidad admisión
9  Aesc=2*6*10^-5; %area lumbrera escape
10 figure(6)
11 n=600; %régimen objetivo
12 adm=0.4; %porcentaje de la carrera en la que ACABA la admisión
13 esc=0.9; %porcentaje de la carrera en la que COMIENZA el escape
14 s=3e-02;
15 D=s/1.5;

```

Ilustración 5: Código matlab

Se puede ver cómo hay un valor de carrera. Dicho valor se obtendrá en siguientes apartados, este apartado solo contempla la obtención del diagrama.

A continuación, se hallan los distintos puntos claves del diagrama. Para ello se utilizan las siguientes relaciones;

$$P * V^k = cte \quad 8$$

$$Volumen muerto = Volumen inivio admisión = \frac{\pi}{4} * d^2 * l \quad 9$$

$$Volumen fin admisión = adm * V_{cilindrada} + Volumen muerto \quad 10$$

$$Volumen inicio escape = esc * V_{cilindrada} + Volumen muerto \quad 11$$

```

19  Vd=0.25*s*pi*D^2; %volumen de cilindrada
20  dp=12*10^-3; % diámetro del laitguillo utilizado para conectar la admisión
21  % del cilindro con la válvula de alimentación
22  lp=12*10^-2;% longitud del latiguillo
23  Vp=0.25*pi*lp*dp^2; %volumen muerto
24  V2=adm*Vd+Vp; %volumen fin admisión
25  V1=Vp; %volumen inicio admisión
26  V3=esc*Vd+Vp; %volumen inicio escape
27  p1=p_adm; %presión admisión
28  p2=p1; %presión inicio expansión
29  k=1.37;
30  p3=p2*(V2/V3)^k; %presión fin expansión
31  p4=1*10^5; %presión descarga
32  V4=V3; %volumen incio compresión, que es cuando se cierra la lumbrera
33  V5=Vp; %volumen fin compresión
34  p5=p4*(V4/V5)^k; %presión fin compresión
35  V4prima=Vd+Vp; %volumen en PMI
36  p23= @(v) p2*(V2./v).^k;
37  p45= @(v) p4*(V4./v).^k;

```

Ilustración 6: Código matlab

Como se puede observar en el código, V5, que es el volumen de fin de compresión, limita esta misma. Cuanto menor fuese, mayores presiones se alcanzarían.

Por último, se grafica el ciclo;

```
40 fplot(p1,[V1 V2]) %admisión, con isobara
41 hold on
42 fplot(p23,[V2 V3]) %expansión, en la que introducimos la fórmula de expansión politrópica
43 plot([V3 V4],[p3 p4]) %descarga instantánea
44 fplot(p4, [V4 V4prima]) %expansión en descarga a presión constante
45 fplot(p45,[V5 V4]) %compresión, en la que introducimos la fórmula de compresión politrópica
46 plot([V5 V1],[p5 p1]) %inicio admisión, igualación de presiones admisión-interior cilindro
47 ylim([0.75*10^5 4.1*10^5])
48 xlim([0 2.3e-5])
49 title("Diagrama P-V del ciclo por cilindro")
50 xlabel("Volumen [m^3]")
51 ylabel("Presion [Pa]")
52 legend("Admisión","Expansión",'Escape','Expansión con escape abierto', 'Compresión')
53 grid on
54 hold off
```

Ilustración 7: Código matlab

### 2.3. Estudio paramétrico.

Como punto inicial, se busca una velocidad media de pistón no muy elevada para no tener grandes pérdidas por fricción y fugas. Para ello, se establece un régimen de giro medio, de alrededor de 600 rpm. A su vez, por cuestiones de manufactura, se opta por una relación carrera-diámetro de 1.5. Anteriormente se eligió de 2, no obstante, su imposibilidad de fabricación hizo que el equipo se decantase por la segunda opción. Con todo ello, entrando en el diagrama que relaciona carrera con régimen de giro, se obtiene la correspondiente carrera = 30 mm, por el corte de las 600 rpm con la curva de  $rsD = 1.5$ .

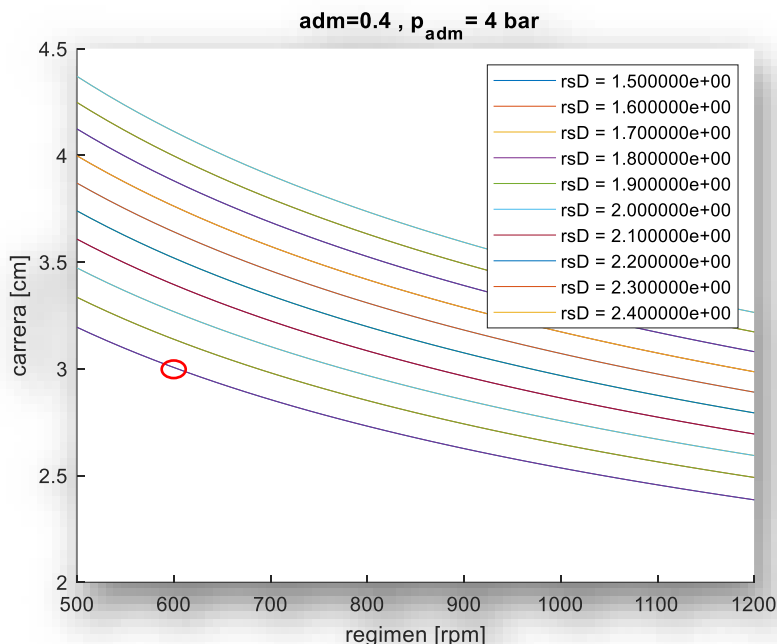


Ilustración 8: Gráfica carrera-régimen

$$s = \sqrt[3]{\frac{(s/D)^2 * 60 * \dot{m}}{\pi * \rho * \%adm * n}} \quad 12$$

Esta es la relación a partir de la cual se obtienen las familias de curvas que relacionan carrera con régimen para distintas relaciones carrera-diámetro. Dicha ecuación se puede obtener a partir de (7).

A continuación, teniendo ya la carrera y con el régimen, se puede entrar en la familia de curvas que relacionan velocidad media del pistón y que se obtiene a partir de la ecuación (4). Realizando el corte entre  $n = 600$  rpm y  $s = 30$  mm, se obtiene una velocidad media del pistón de aproximadamente 0.6 m/s. Atendiendo a dicha  $c_m$ , se establece que se trata de una velocidad acorde a los requisitos establecidos.

Es por esto, que teniendo ya “s” y la relación carrera diámetro se puede calcular el diámetro, dando  $D = 20$  mm. Teniendo una admisión aproximadamente en un 40% de la carrera, obtenida tras diversas iteraciones para obtener valores razonables de carrera y diámetro, solo faltaría hallar el porcentaje de la carrera donde empieza la descarga.

Dicho escape se calcula de tal forma que exista el tiempo mínimo suficiente para que se pueda descargar la totalidad de la masa en el interior del cilindro, y se añadirá un factor de seguridad de 1.2, para asegurar lo anterior.

La metodología para obtener dicho tiempo es la siguiente: desde que comienza a abrirse la lumbrera, el área de salida a través de esta crece con el tiempo, a una velocidad igual a la velocidad media del pistón. Se sabe que dicha descarga finalizará cuando la presión en el interior

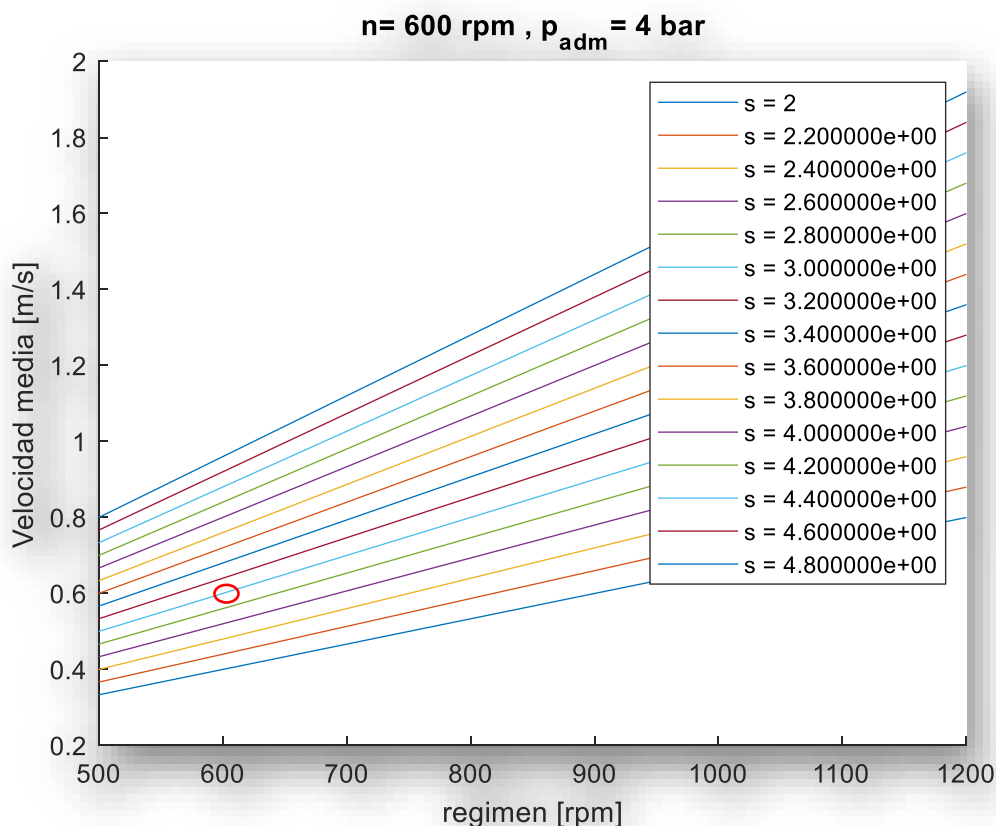


Ilustración 9: Gráfica velocidad media-régimen

del cilindro, menos las pérdidas de carga debidas a la lumbrera, sea igual a la presión ambiente.

Se puede calcular la presión en el interior del cilindro en cada instante ya que, al tener la masa dentro del cilindro en cada momento, teniendo el volumen encerrado, se puede hallar la densidad y con esta y la ecuación de los gases ideales (suponiendo proceso isoterma) se puede hallar dicha presión.

Para hallar la masa en el interior del cilindro, se parte de la que hay en un inicio, y en cada iteración, calculando previamente el caudal en ese instante, se calcula la masa que sale del cilindro y esta se resta a la inicial.

Para realizar el procedimiento descrito, se utilizará un bucle for, en el que cada iteración son  $10^{-6}$  segundos. Para calcular las condiciones iniciales estas se tienen ya que son las mismas que se tienen al final de la expansión, a partir de la cual se pueden calcular tanto la presión como el volumen (a través de la ecuación de expansión politrópica) y la temperatura con la ecuación de los gases ideales.

```
82 for i=1:4450
83     tnueva=tnueva+var1; %instante actual
84     if tnueva<1/cm
85         A=b*cm*tnueva; % en caso de estar el pistón bajando y la lumbrera abriendose
86     elseif tnueva>1/cm && tnueva<0.2*s*cm
87         A=b*1; %etapa en la que la umbrera ya está abierta pero el pistón sigue bajando
88     else
89         tnueva2=tnueva2+var1;
90         A=b*(1-cm*tnueva2); %etapa en la que el pistón sube y la lumbrera comienza a cerrarse
91     end
92     mpuntoesc=0.6*A*sqrt(2*rho3nueva*(p3nueva-pamb)); %cálculo del caudal en ese instante
93     mnueva=mnueva-mpuntoesc*var1; %masa que queda en el cilindro
94     var1=var1+var1*cm; %longitud avanzada por el pistón
95     V3nueva=V3+var1*0.25*pi*D^2;%nuevo volumen encerrado por el pistón
96     rho3nueva=mnueva/V3nueva;% densidad actual en el cilindro
97     p3nueva=rho3nueva*R*T3; %presión interior cilindro
98     mm=mm+mpuntoesc; %Aquí se vasumando los distintos caudales para después realizar un promedio
99 end
```

Ilustración 10: Código matlab

Con las iteraciones se obtiene que el tiempo necesario para la descarga son 0.0045 segundos, lo que equivale, con un régimen de 600 rpm, a que el escape se encuentre en el 95% de la carrera. Al introducir el factor de seguridad, queda que el escape se encontrará en el 90% de la carrera, teniendo así también la posición de la lumbrera.

Por último y teniendo ya todos los parámetros es interesante calcular la potencia teórica obtenible del expansor. Dicha potencia será función del escape y la admisión, por ello, se deberán introducir como variables. La metodología será la siguiente; se calculará el trabajo por ciclo que realiza un cilindro, para ello se deberá integrar la expresión de la presión en función del volumen. Posteriormente dicha potencia se deberá multiplicar por la velocidad para obtener la potencia

```

59 for i=1:10
60     Vd=0.25*pi*D^2;
61     V2= adm.*Vd+Vp;
62     V1= Vp;
63     V3=@(esc) esc*Vd+Vp;
64     p1=p_adm;
65     p2=p1;
66     p3=@(esc) p2*(V2./V3(esc)).^k;
67     V4=@(esc) V3(esc);
68     V5= Vp;
69     p5=@(esc) p4*(V4(esc)./V5).^k;
70     p23= @(v) p2*(V2./v).^k;
71     p45= @(v,esc) p4*(V4(esc)./v).^k;
72     f1= @(v,esc) p1 - p45(v,esc); %función 1, en la que se resta la parte de la admisión por la parte correspondiente a la compresión
73                                     %en el mismo rango de volumen
74     f2= @(v,esc) p23(v) - p45(v,esc); %función 2, en la que se resta la parte de expansión y su correspondiente en mismo rango de
75                                     % volúmenes en la parte de compresión
76
77     Wuni=@(esc) integral(@(v) f1(v,esc),V1,V2) + integral(@(v) f2(v,esc),V2,V3(esc)); %trabajo por ciclo
78     Puni=@(esc) Wuni(esc)*2*n/60; %potencia por cilindro
79     Ptot=@(esc) Puni(esc)*z; %potencia total por ciclo
80     hold on
81     fplot(Ptot,[0.6 1])
82     grid on
83     ylabel("Potencia [W]")
84     xlabel("escape")
85     title("n= 613 rpm , p_a_d_m= 4 bar")
86     label=sprintf('adm = %d',adm);
87     legend_labels(i)=label;

```

Ilustración 11: Código matlab

unitaria, y por último por el número de cilindros para hallar la total.



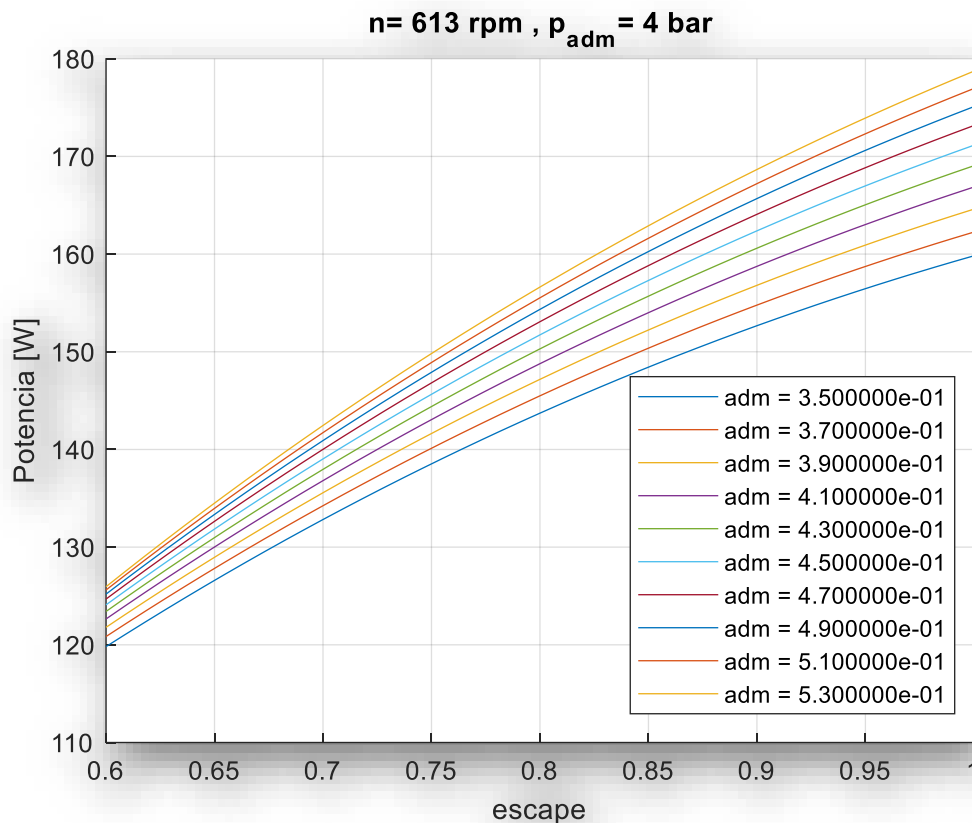


Ilustración 12: Gráfica potencia-escape

Atendiendo al diagrama se obtiene una potencia de alrededor de 155 W.

## 2.4. Parámetros finales.

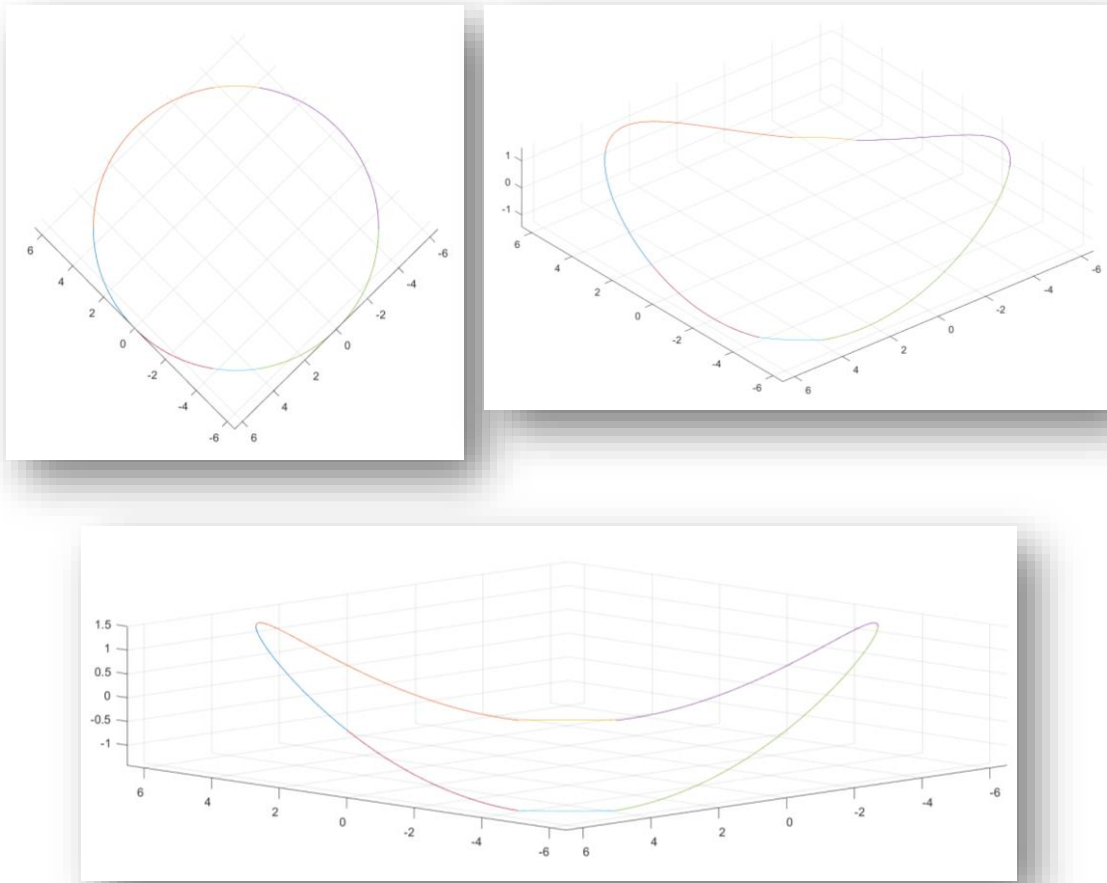
Recogiendo todo lo calculado, los parámetros obtenidos para este modelo son los siguientes:

Carrera = 30 mm  
 $s/D = 1.5$   
 $D = 20 \text{ mm}$   
 $n = 600 \text{ rpm}$  (régimen objetivo)  
 Admisión = 40% de la carrera  
 Escape = 90% de la carrera

## 2.5. Leva.

La leva está conectada a los pistones por unas bolas que rodarán por la superficie de la leva. De esta manera los pistones empujarán la leva durante la expansión, mientras que la leva empujará los pistones durante el resto del ciclo. Esto es gracias a que el disco de inercia conservará el momento angular para que los pistones sean empujados por la leva sin haber ningún pistón haciendo mover la leva en ese mismo instante. La leva tiene una forma cilíndrica y girará sobre su eje, de manera que por cada vuelta que de la leva los cilindros realizan 2 ciclos completos.

A partir de una forma senoidal se han hecho algunas modificaciones hasta llegar a la forma que se muestra en las figuras. Se puede observar que en la parte de abajo es plana, en esta parte la lumbrera de escape estará completamente abierta y no tiene ningún beneficio que el pistón baje más. Además, las pendientes de subida y de bajada no son exactamente iguales, la pendiente de bajada es más pronunciada. Esto se ha realizado debido al beneficio que supone que sea más suave la subida (compresión) para ahorrar problemas mecánicos al pistón; sin embargo, durante la bajada (expansión) esto no es necesario, así la pendiente es más pronunciada.



*Ilustración 13: Cálculo leva Matlab*

## **2.6. Volante de inercia**

El cálculo del volante de inercia se ha realizado en Matlab, siguiendo los pasos del archivo publicado en Teams. Se calcula primero el par motor instantáneo, que se muestra en la figura. Para ello, se utilizan las siguientes ecuaciones:



$$\begin{aligned}
 \text{Posición del pistón} &\rightarrow s(\alpha) \approx R \left[ 1 - \cos \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin^2 \alpha \right] \\
 \text{Volumen del cilindro} &\rightarrow V(\alpha) = V_c + A_p \cdot s(\alpha) = V_c + A_p \cdot R \left[ 1 + \frac{\lambda}{4} - (\cos \alpha + \frac{\lambda}{4} \cos 2\alpha) \right] \\
 \text{Aceleración del pistón} &\rightarrow a_{\text{alt}}(\alpha) = R \cdot \omega^2 \cdot [\cos \alpha + \lambda \cos 2\alpha] \\
 \text{Fuerza vertical sobre el bulón} &\rightarrow F(\alpha) = F_g(\alpha) + F_{\text{alt}}(\alpha) = p_g(\alpha) \cdot A_p + (-m_{\text{alt}} \cdot a_{\text{alt}}(\alpha)) \\
 \text{Fuerza tangencial sobre el cigüeñal} &\rightarrow F_T(\alpha) = F(\alpha) \cdot \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}; \quad \beta = \arcsen(\lambda \cdot \sin \alpha) \\
 \text{Par motor instantáneo} &\rightarrow M_m(\alpha) = F_T(\alpha) \cdot R
 \end{aligned}$$

Ilustración 14: Fórmulas cálculo volante de inercia

Y a partir de ahí se calcula la aceleración angular y después la velocidad angular de la leva. Tras todo ello se obtiene las dimensiones necesarias que ha de tener un volante de inercia cilíndrico de acero para que la irregularidad de la velocidad no supere un 10 % durante el arranque, es decir a 200 rpm.

De todas las dimensiones las dimensiones posibles se han elegido de 22 cm de diámetro y 5.26 cm de espesor y de 6 Kg de peso.

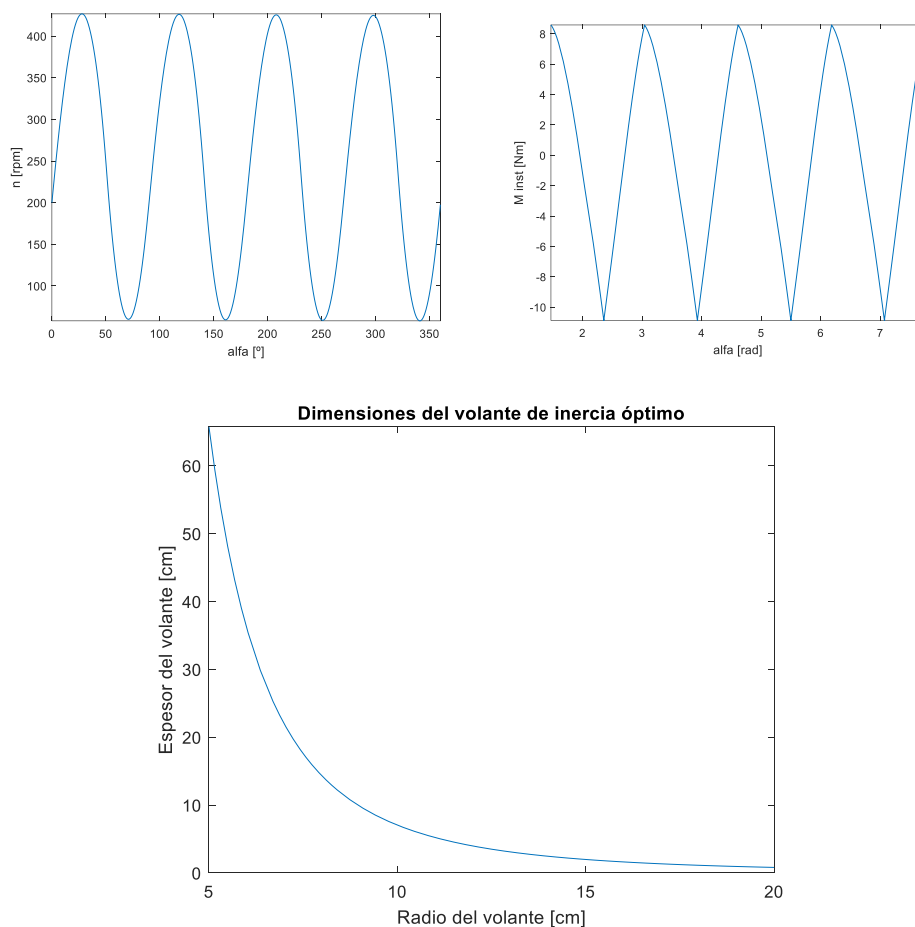


Ilustración 15: Relación espesor-radio volante de inercia

### 3. Diseño mecánico.

El diseño mecánico del expansor es la etapa en la que se definen los elementos mecánicos que lo componen, decidiendo tanto la geometría de cada elemento como el método de construcción y de ensamblaje teniendo en cuenta materiales, elementos normalizados y restricciones generadas en el diseño termodinámico.

Para llevar a cabo el primer diseño mecánico se han analizado los mecanismos que componen el expansor y se ha realizado una división en subsistemas. De esta manera, se pueden analizar los requisitos que debe cumplir cada subsistema facilitando su diseño preliminar.

Una vez realizado el primer diseño de cada subsistema se estudia cómo se deben unir entre ellos y las condiciones de sus conexiones, ya que pueden obligar a modificar el diseño original de los elementos del subsistema.

#### 3.1. Admisión.

El subsistema de la admisión es el encargado de distribuir el aire comprimido a cada cilindro en el momento exacto. La sincronización y el correcto funcionamiento de este subsistema es primordial para lograr obtener potencia del expansor.

Los principales elementos que constituyen este subsistema son la carcasa de la válvula y el cuerpo de la válvula. Por otra parte, los elementos secundarios del subsistema serían el rodamiento de la válvula, la tornillería de sujeción y los latiguillos de conexión con los cilindros y con la entrada de aire. Estos últimos elementos son normalizados y forman parte del material a comprar.

##### 3.1.1. Carcasa de la válvula.

La carcasa de la válvula es la encargada de unir el subsistema de admisión. Por su exterior se conectan los latiguillos que de los cilindros y el de alimentación, así como los tornillos que la fijarán al soporte. En su interior se aloja el cuerpo de la válvula y el rodamiento que permite el giro relativo de eje y cuerpo de válvula respecto de la carcasa.

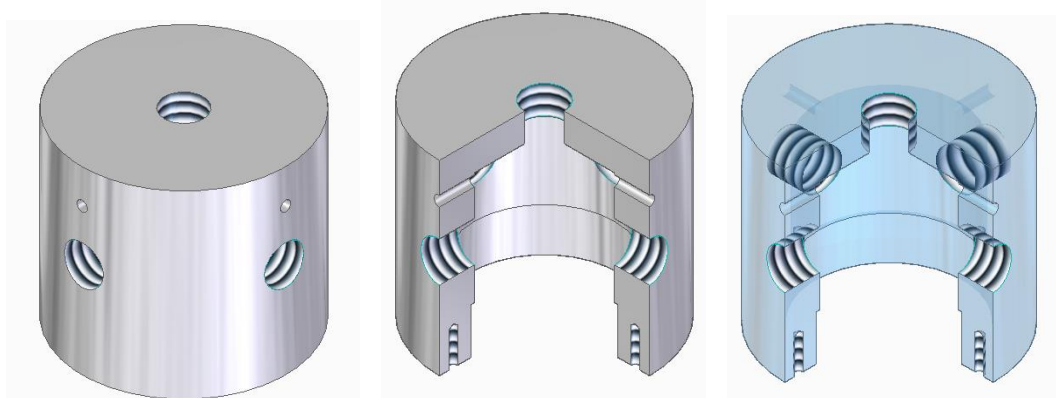


Ilustración 16: Carcasa válvula

En la superficie curva lateral se encuentran unos pequeños orificios abiertos a la atmósfera situados en la parte superior de los latiguillos de los cilindros. La función de estos agujeros es evitar que las fugas de aire que fluyen entre la carcasa y el cuerpo de la válvula se dirijan hacia los cilindros que no se encuentran en admisión o expansión, permitiendo su salida al exterior. De

esta manera se evita que los 4 cilindros se encuentren en expansión y no permitan el giro del expansor. Cabe destacar que estos orificios nunca se encuentran enfrentados directamente con el agujero de admisión del cuerpo de la válvula, por lo que el caudal de aire que se elimine a través de ellos no corresponderá con el de admisión, solo con las fugas que existan entre carcasa y cuerpo de válvula.

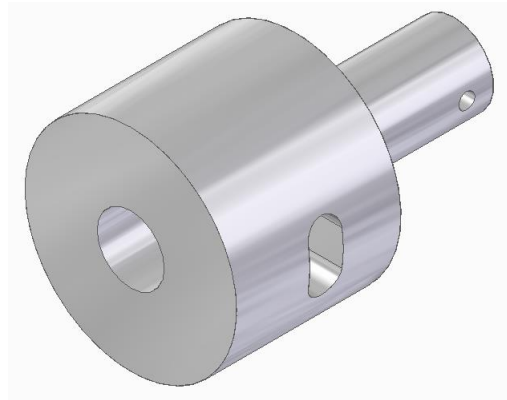
**Material:** Aluminio.

**Método de fabricación:** partiendo de un tocho de 60 mm de diámetro y 55 mm de largo se realiza un torneado interior con dos diámetros diferentes, el más profundo de 40 mm de diámetro para alojar el cuerpo de la válvula y el menos profundo de 42 mm de diámetro para introducir el rodamiento. A continuación, se da la vuelta al tocho y se realiza un refrentado en el torno por la cara de los agujeros para asegurar la perpendicular de este plano y el buen acoplamiento en el soporte.

Posteriormente, en el taladro de mesa se realizan los agujeros y los correspondientes roscados mediante machos. Primero se realiza el del latiguillo de admisión en la cara plana que no se ha tornado. Girando la pieza 180° se realizan los 4 agujeros roscados para los tornillos de sujeción separados 90°. Finalmente, en la cara curva se taladran y roscan los agujeros para los latiguillos de los cilindros y los agujeros de escape con una separación de 90° entre ellos.

### 3.1.2. *Cuerpo de la válvula.*

La función del cuerpo de la válvula es dirigir el aire comprimido que entra por el latiguillo de admisión a los cilindros.



*Ilustración 17. Válvula*

Para ello está acoplado al eje, de manera que giran solidarios y envía el aire a los cilindros dos a dos. Los conductos internos son por los que circula el aire comprimido por lo que es importante tratar de suavizar las entradas y salidas para reducir las pérdidas de carga. Debe ir suficientemente ajustado respecto de la carcasa para evitar fugas, pero sin llegar a producirse el contacto para permitir el giro.

La unión con el eje se realiza insertando el eje en el interior del extremo del cuerpo de la válvula y bloqueando su giro relativo mediante un pasador.

**Material:** Aluminio.

**Método de fabricación:** partiendo de un tocho de 40 milímetros de diámetro se realiza un cilindrado exterior para rebajar el diámetro de un extremo a 15 mm. A continuación, en el taladro de mesa se realizan 3 operaciones. en primer lugar, se realiza un agujero axial en el extremo de diámetro rebajado para insertar el eje de 10 mm de diámetro. En segundo lugar, se realiza un

taladro radial para colocar el pasador que bloqueará el eje. En último lugar, se realiza un taladro axial por el extremo de mayor diámetro que corresponderá con la entrada del aire de admisión.

Finalmente, mediante la fresadora se realiza un agujero radial pasante en la cara curva de mayor diámetro que debe conectar con el taladro que se realizó para la entrada del aire de admisión.

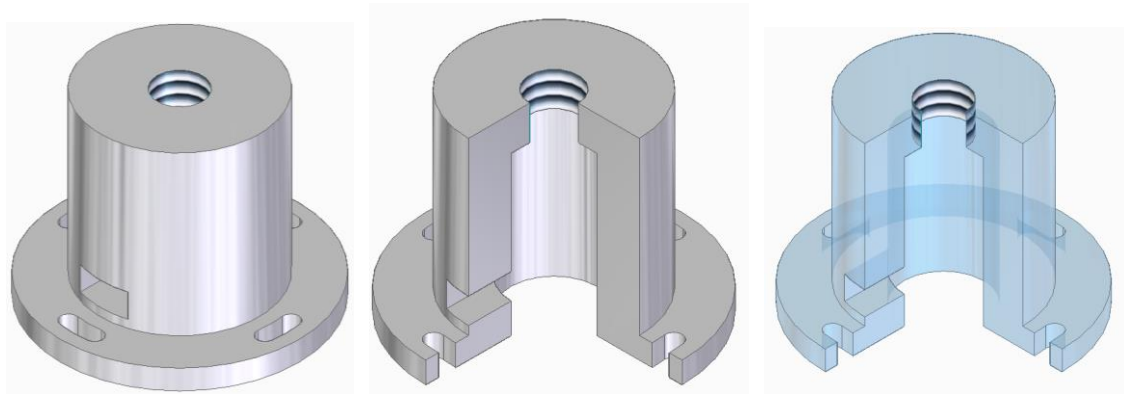
### 3.2. Conjunto cilindros.

El conjunto cilindros es el encargado de generar trabajo a través del movimiento de los pistones debido a la expansión forzada por el aire a presión. Los cuatro pistones colocados en un patrón circular están separados  $90^\circ$  y se mueven sincronizados 2 a 2, en concreto cada cilindro se desplaza de manera simétrica al que se encuentra enfrente en el patrón circular.

Este subsistema está formado por los cilindros, los pistones, las bielas y las ruedas de contacto. A parte de esos elementos principales existen otros secundarios dentro del subsistema, como son los tornillos de sujeción, los rodamientos lineales y los anillos de seguridad que junto a una arandela específica sujetan los rodamientos lineales.

#### 3.2.1. Cilindros.

Los cilindros son los elementos en los que se produce el ciclo termodinámico de admisión, compresión, expansión y escape. El aire entra por su parte superior a través del orificio de admisión y empuja al pistón hasta producirse el escape a través de una lumbrera situada en la pared lateral. Cabe destacar que las ranuras para los tornillos de sujeción tienen una cierta apertura angular para permitir un cierto giro del cilindro antes de fijarlo y conseguir una conexión de todos los elementos más sencilla.



*Ilustración 18: Carcasa cilindro*

La geometría de los cilindros y el hecho de que se fabriquen por mecanizado a partir de un solo tocho obliga a eliminar una gran cantidad de material para crear la brida que aloja los tornillos de sujeción. Este proceso necesita tiempo y coste en material sobrante, pero se ha decidido implementar por varios motivos. En primer lugar, los tornillos de sujeción no se podían introducir desde el otro lado del soporte y rosarlos en la pared del cilindro debido al uso del rodamiento lineal, ya que el diámetro exterior del rodamiento lineal era muy similar al diámetro exterior del cilindro y no había espacio suficiente para un tornillo. Por este motivo, la mejor solución estudiada era el uso de una brida. Se descartó fabricar la brida a parte y después unirla al cilindro ya que los métodos de unión mecánicos no darían suficiente rigidez al conjunto, y la soldadura podría causar deformaciones que provocasen el gripado de los pistones al deformarse la pared interior de los

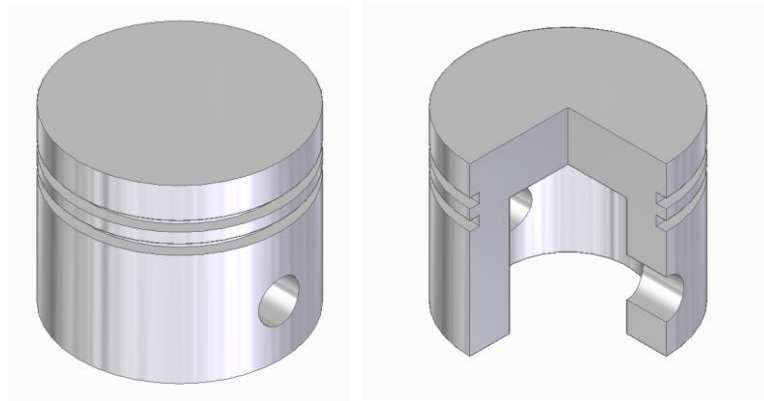
cilindros. De este modo se tomó la decisión de fabricar la brida a partir del mismo tocho que el cilindro, y aprovechar el material sobrante en el mecanizado para fundirlo y crear el soporte de la válvula y los pistones.

**Material:** Aluminio.

**Método de fabricación:** Partiendo de un tocho de 60 mm de diámetro se realiza un cilindrado exterior para rebajar el diámetro y dejar la brida de los tornillos de sujeción. Posteriormente realizamos un torneado interior para el hueco por donde deslizarán los pistones. A continuación, en el taladro de mesa realizamos el agujero roscado de la cara superior para la admisión. En la etapa final, mediante la fresadora se generan las ranuras para los tornillos y la lumbrera.

### 3.2.2. Pistones.

Los pistones son los encargados de transformar la presión ejercida por el aire en un movimiento lineal.



*Ilustración 19: Pistón*

Se alojan dentro de los cilindros y poseen ranuras para colocar segmentos en caso de percibir fugas excesivas. La fijación de la biela se realiza mediante un pasador tubular de expansión de manera que permita un pequeño giro entre pistón y biela para evitar que el pistón se gripe por una desviación en su movimiento rectilíneo causada por las fuerzas horizontales generadas en el contacto con la leva.

**Material:** Aluminio.

**Método de fabricación:** partiendo de un tocho de 20 mm de diámetro se realiza en el torno un cilindrado exterior para asegurar la tolerancia dimensional del diámetro exterior. A continuación, se realizan dos ranurados para alojar los segmentos. Finalmente, en el taladro de mesa se generan los agujeros para alojar la biela y el pasador.

### 3.2.3. Bielas.

La biela conectará los pistones con la leva a través de las bolas de contacto. Su movimiento se verá restringido por los rodamientos lineales, cuya función es asegurar que las fuerzas transmitidas al pistón son únicamente longitudinales, eliminando las componentes radiales que se generan en el contacto con la leva. Esta filtración de fuerzas se realiza para evitar que los pistones se desalineen y se gripen.

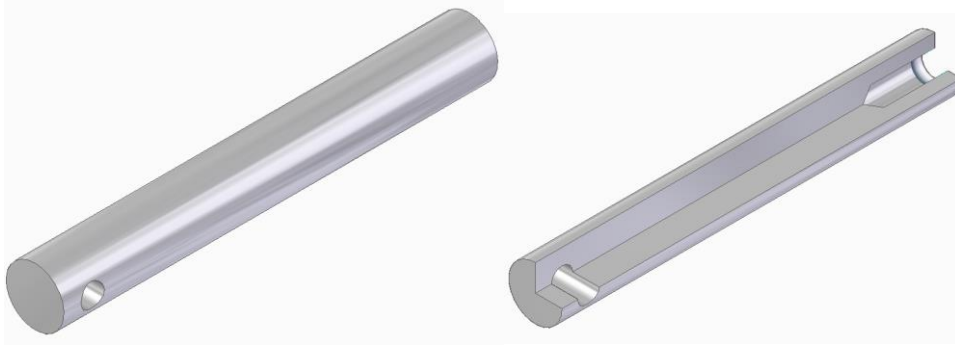


Ilustración 20: Biela

**Material:** aluminio.

**Método de fabricación:** partiendo de una barra de 10 mm de diámetro se cortará a la medida necesaria. A continuación, se realizará mediante el taladro de mesa un agujero pasante en un extremo para el pasador de sujeción al pistón, y en el otro extremo un agujero roscado longitudinal para la conexión con la bola de contacto.

### 3.2.4. Seguidor esférico

Los seguidores esféricos son las bolas que van a estar en contacto con la leva cuando los pistones se muevan. Estas bolas estarán unidas con el pistón por medio de un roscado. A la hora de seleccionar que tipo de bolas son las que necesitamos, se han medido parámetros como la fuerza máxima que pueden soportar o la pendiente máxima de leva que puede permitir sin que roce la carcasa de la bola con la leva.



Ilustración 21: Bola

**Material:** Acero inoxidable.

**Método de fabricación:** Estos seguidores esféricos no los fabricaremos nosotros, sino que se comprarán.

### 3.2.5. Arandela de sujeción de los rodamientos lineales.

Los rodamientos lineales van sujetos mediante circlips de compresión en sus extremos, pero debido a que son más largos que el soporte de los cilindros es necesario implementar una arandela que complete el ancho marcado por la distancia entre circlips del rodamiento lineal.

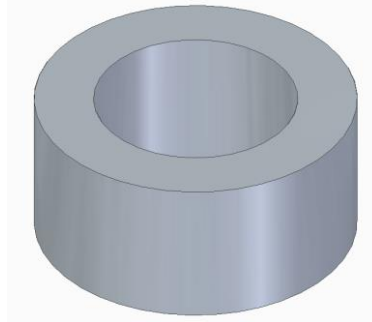


Ilustración 22: Arandela de sujeción

**Material:** aluminio.

**Método de fabricación:** partiendo de un tocho de 60 mm de diámetro se corta a la longitud necesaria y se realiza un agujero pasante de 32 mm de diámetro, siendo este el diámetro exterior del rodamiento lineal.

### 3.3. Soporte de la válvula y los cilindros.

El soporte de la válvula y los cilindros es una única pieza que permite posicionar todos estos subsistemas correctamente, así como alinear todo el mecanismo gracias a los espárragos que lo conectan con el segundo soporte. Además, este soporte va anclado a la base del motor absorbiendo los esfuerzos y vibraciones debidos al funcionamiento de este.

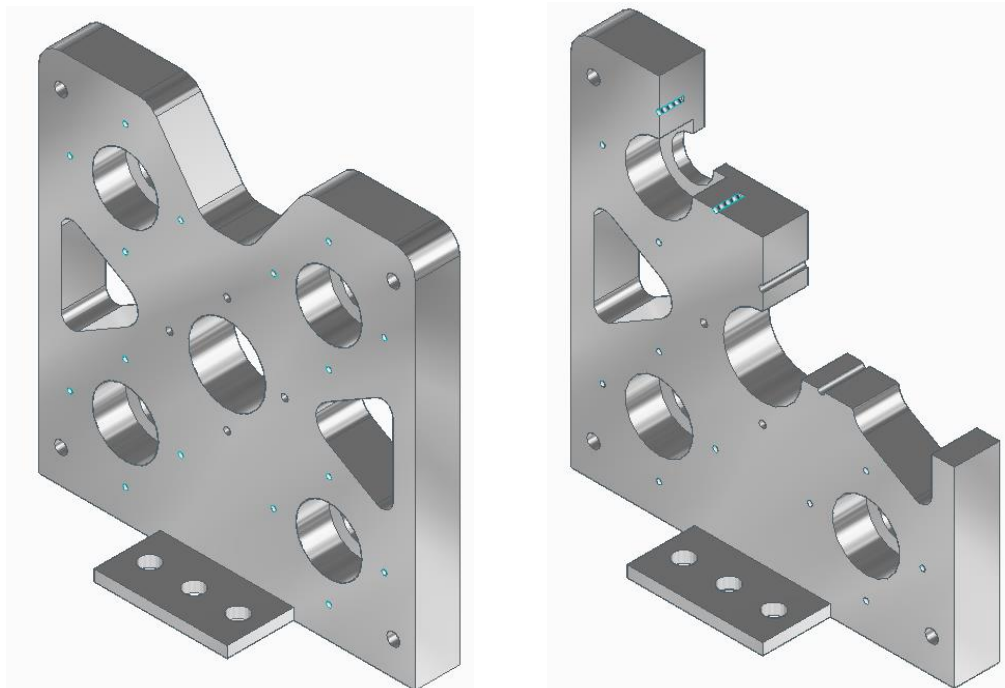


Ilustración 23: Soporte válvulas y cilindros



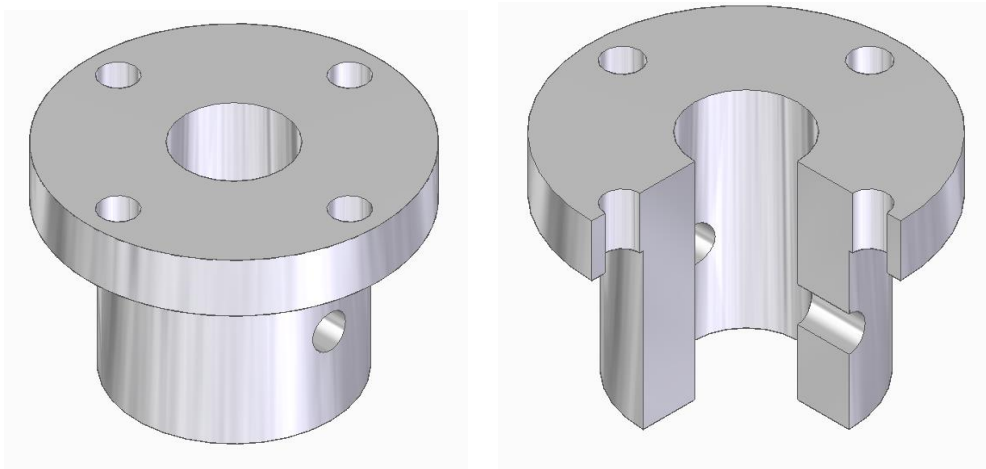
**Material:** Aluminio.

**Método de fabricación:** este soporte se fabricará mediante fundición. Primero se creará un modelo mediante la impresora 3D para poder crear el molde de fundición. Una vez obtenido la pieza de fundición se deberá mecanizar. Primero mediante la fresadora se aplanan las caras para asegurar la perpendicularidad con la base y el paralelismo entre caras verticales del soporte. A continuación, se repasarán los agujeros de los cilindros y la válvula para asegurar sus tolerancias dimensionales y se realizarán los taladros para los espárragos de alineación y los tornillos de fijación de todos los elementos.

### **3.4. Conjunto leva.**

La leva es elemento que convierte el movimiento rectilíneo de los pistones en un movimiento rotativo. Va acoplada solidariamente al eje mediante una brida. El perfil de la leva determina los tiempos de admisión y escape y la velocidad de los pistones en la expansión y la compresión. Se ha decidido que la pendiente sea mayor en la expansión para aprovechar mejor la componente longitudinal de la fuerza de los pistones y disminuir el trabajo que tiene que realizar el pistón para girar la leva. Sin embargo, en la compresión conviene que la pendiente sea menor para no forzar la entrada del pistón en el cilindro disminuyendo las fuerzas transversales. La unión de la brida tanto al eje como a la leva se realiza mediante tornillos.

#### **3.4.1. Brida de sujeción para la leva.**



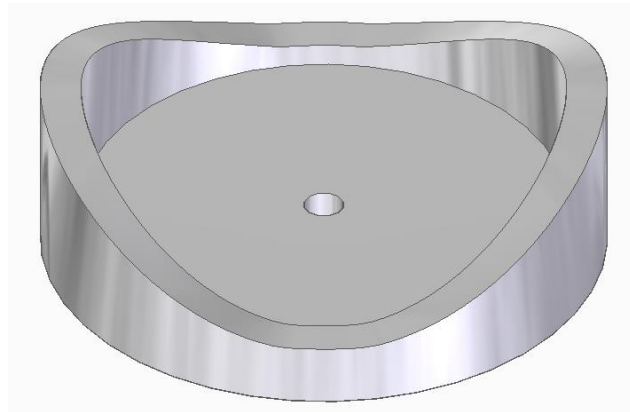
*Ilustración 24: Brida de sujeción leva*

**Material:** Aluminio.

**Método de fabricación:** partiendo de un tocho de 40 mm de diámetro se realiza un torneado exterior para crear el escalón necesario para los tornillos y posteriormente se realiza un taladro de 10 mm de diámetro para la inserción del eje. Finalmente se realizan los agujeros para los tornillos.



### 3.4.2. Leva.



*Ilustración 25: Leva*

**Material:** Aluminio.

**Método de fabricación:** la leva se fabricará mediante fundición, por lo que deberemos crear un modelo mediante impresión 3D para crear el molde. Una vez terminada la fundición se mecanizará el agujero del eje mediante taladrado y se mejorará la calidad superficial de la banda de rodadura mediante un desbastado progresivo con lijas al agua.

### 3.5. Eje.

El eje es el elemento que conecta y coordina la válvula y la leva, es decir, los elementos más importantes para el funcionamiento del expansor. Por otra parte, es el encargado de alojar elementos como el volante de inercia y de transmitir la potencia al exterior.



*Ilustración 26: Eje*

**Material:** Acero.

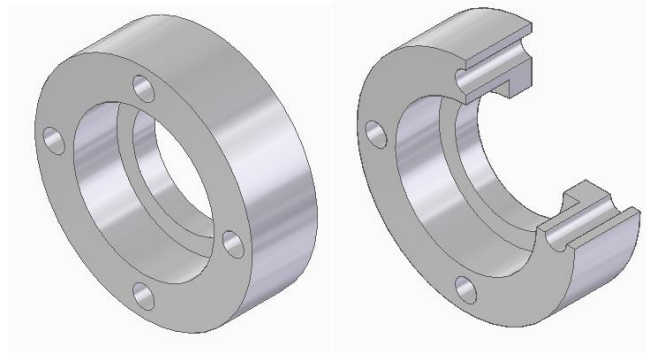
**Método de fabricación:** partiendo de una barra de acero de 10 mm de diámetro solo se tendrán que realizar los taladros correspondientes para la sujeción mediante tornillos o pasadores a la válvula, la leva y el volante de inercia.

### 3.6. Soporte eje.

El soporte del eje está compuesto por la chapa de soporte y la brida de sujeción del rodamiento. Su función es proporcionar un segundo punto de apoyo al eje mediante un rodamiento y permitir alinear el conjunto completo gracias a los 4 espárragos conectados en sus esquinas que están también unidos al soporte de la válvula y los cilindros. Además, va unido a la base del conjunto absorbiendo los respectivos esfuerzos y vibraciones.

#### 3.6.1. Brida sujeción rodamiento.

Esta brida permite alojar el rodamiento que sustenta el eje, ya que la chapa del soporte no puedo hacerlo por ser más delgada que el ancho del rodamiento.

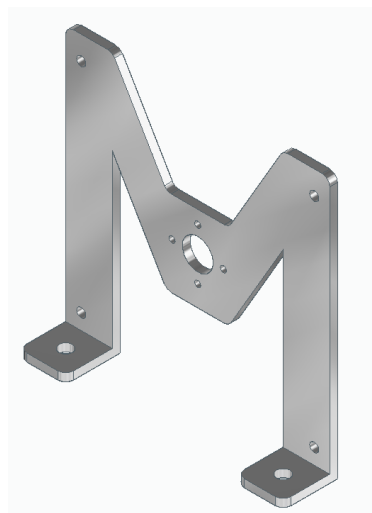


*Ilustración 27: Brida sujeción rodamiento*

**Material:** Aluminio.

**Método de fabricación:** partiendo de un tocho de 40 mm de diámetro se realiza un torneado exterior para crear el escalón necesario para los tornillos y posteriormente se realiza un torneado interior para alojar el rodamiento. Finalmente se realizan los agujeros para los tornillos de sujeción.

#### 3.6.2. Soporte.



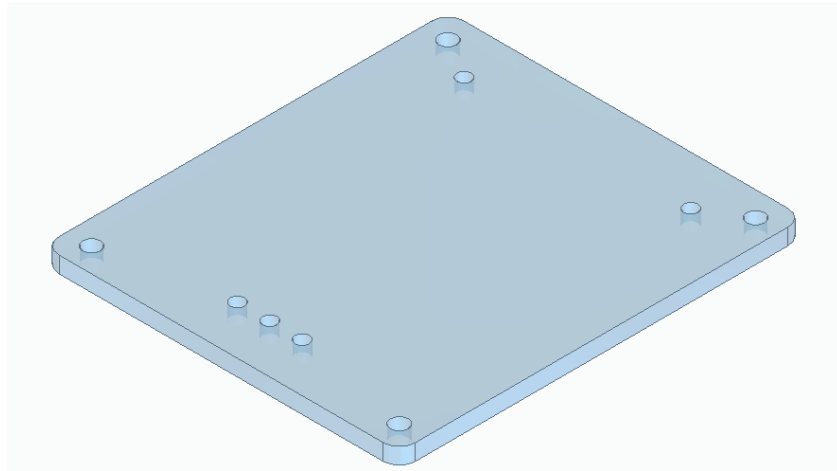
*Ilustración 28: Soporte*

**Material:** Acero.

**Método de fabricación:** partiendo de una chapa de acero se realiza un corte láser para definir la geometría del soporte y finalmente un plegado para la sujeción mediante tornillos a la base del conjunto.

### 3.7. Base del conjunto.

La base es el elemento que engloba todo el conjunto. Absorbe los esfuerzos y vibraciones transmitidos por los soportes. Esta elevada gracias a 4 patas de goma regulables que permiten la nivelación en cualquier tipo de superficie.



*Ilustración 29: Base del conjunto*

**Material:** Acero.

**Método de fabricación:** partiendo de una chapa de acero se corta mediante una radial y se realizan los taladros para los tornillos de los soportes y las patas.

### 3.8. Montaje.

El orden seguido para realizar el montaje es importante, ya que una secuencia incorrecta de inserción de piezas puede aumentar el tiempo de montaje o imposibilitarlo. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Introducción del cuerpo de la válvula en el rodamiento.
2. Unión del cuerpo de la válvula con el eje.
3. Introducción del cuerpo de la válvula y el rodamiento en la carcasa de la válvula.
4. Montaje de la carcasa de la válvula en su soporte pasando el eje a través del soporte.
5. Montaje de la leva en el eje.
6. Montaje del segundo soporte con el rodamiento alojado en la brida de sujeción.
7. Montaje de los rodamientos lineales y sus arandelas de sujeción en el soporte de los cilindros.
8. Ensamblaje de la biela y el pistón y posterior inserción de la biela en el rodamiento lineal.
9. Montaje de los cilindros en el soporte.
10. Unión de las bolas de rodadura con las bielas.
11. Unión de válvula y cilindros mediante los latiguillos.
12. Alineamiento de los soportes mediante los espárragos y posterior fijación en la base.
13. Acoplamiento del volante de inercia y freno.

## 4. Presupuesto

Para el cálculo del presupuesto solamente se reflejará el coste material. Esto es debido a que a día de hoy no sabemos cuántas horas se tardarán en fabricar el expansor, por lo que el coste de operación es muy difícil de calcular. Por ello una vez terminado el proyecto se podrá hacer una aproximación más coherente con la realidad.

Cabe destacar que el precio final no es definitivo, pues aún no sabemos el precio concreto de algunos materiales proporcionados por la ETSII, por lo que se han realizado los cálculos con precios de proveedores actuales del mercado que no tienen que ser necesariamente los proveedores de la ETSII. Además, algunos materiales, sobre todo los tochos, podrán ser compartidos entre varios grupos por lo que se ha realizado el cálculo con la parte proporcional necesaria para nuestro expansor.

### 4.1. Coste piezas a fabricar

A continuación, se muestra una tabla con el desglose de todos los precios relacionados con las piezas que se van a fabricar.

ID	Nombre Pieza	Cantidad Piezas	Coste total	Comentarios
1	Cabeza Pistón	4	0,74 €	10,89 € aprox tocho 1 metro
2	Cuerpo pistón	4	0,92 €	3,03 € aprox tocho 1 metro
3	Carcasa Cilindro	4	18,68 €	103,87€ aprox tocho 1 metro
4	Brida	2	5,38 €	40,46 € aprox tocho 300 mm
5	Brida rodamiento	1	0,46 €	38,72 € aprox tocho 1 metro
6	Arandela	4	2,15 €	40,46 € aprox tocho 300 mm
7	Carcasa válvula	1	5,51 €	103,87€ aprox tocho 1 metro
8	Válvula	1	2,32 €	38,72 € aprox tocho 1 metro
9	Soporte cilindros	1	36,31 €	A medida
10	Soporte varillas (M)	1	25,66 €	A medida
11	Eje	1	0,61 €	3,03 € aprox tocho 1 metro
12	Leva	1	0,73 €	Precio aprox kg chatarra 1,25€
13	Base	1	31,17 €	A medida

Tabla 1: Coste elementos normalizados

El precio total de los **materiales** para las piezas que vamos a **fabricar** es de aproximadamente **130,63 €**

### 4.2. Coste de elementos normalizados

A continuación, se muestra una tabla con el desglose de todos los precios de los elementos normalizados que emplearemos para la fabricación de nuestro expansor.

En cuanto a los rodamientos y los seguidores esféricos (bolas) se han estudiado varias alternativas de compra. Finalmente, nos quedaremos con la opción barata.

ID	Nombre Componente	Datos / Dimensiones normalizadas	Cantidad Piezas	Coste unitario	Coste total	Comentarios
1	Machón	G 1/4 - 3/8	1	0,57 €	0,57 €	
2			8		4,56 €	
3	Latiguillo metálico	3/8 - 3/8 30mm	4	3,95 €	15,80 €	
4	Anillo seguridad	DIN 471 18x1,2	8	0,94 €	7,51 €	
5	Rodamiento de bolas	6000	1	2,03 €	2,03 €	
6	Rodamiento de bolas	6302	1	2,80 €	2,80 €	
7	Rodamiento lineal	LM10-UU	4	8,45 €	33,80 €	Opción cara (la descartamos)
8			4	0,99 €	3,96 €	Opción barata
9	Tornillo	M3 x 16	16	0,05 €	0,75 €	
10	Tornillo	M3 x 30	4	0,05 €	0,19 €	
11	Seguidor esférico	11MI-16-13	4	34,94 €	139,76 €	Opción cara (la descartamos)
12				13,56 €	54,24 €	Opción barata
13	Varillas roscada	M5 760mm	1	2,96 €	2,96 €	Se vende por metro, la dividiremos entre 4
14	Patás	-	4			Gratis, (proporcionadas por Juan Antonio)
15	Volante de inercia	-	1			
<b>Totales</b>						
	10		61		95,37 €	

Tabla 2: Costes elementos normalizados

El precio total de todos los **elementos normalizados** necesarios para la fabricación del expansor es de aproximadamente **95,37 €**.

Por tanto, el **coste material total** es de aproximadamente  $130,63 € + 95,37 € = 226 €$ .



### 5. Planificación

Para la planificación de la fabricación de todas las piezas se hace la siguiente estimación:

Tarea	Id	Fecha de comienzo	Duración (días)	Fecha de finalización
Preparación para fabricación	1	18/12/2023	45	01/02/2024
Carcasa	2	01/02/2024	7	08/02/2024
Válvula admisión	3	08/02/2024	7	15/02/2024
Cilindros	4	15/02/2024	7	22/02/2024
Soporte medio	5	01/02/2024	28	29/02/2024
Soporte final	6	29/02/2024	7	07/03/2024
Cabeza pistón	7	07/03/2024	7	14/03/2024
Cuerpo de pistón	8	14/03/2024	7	21/03/2024
Leva	9	21/03/2024	7	28/03/2024
Eje	10	28/03/2024	7	04/04/2024
Montaje de componentes	11	15/02/2024	63	18/04/2024
Puesta a punto y prueba del expansor	12	18/04/2024	14	02/05/2024
Mediciones y resultados	13	02/05/2024	14	16/05/2024

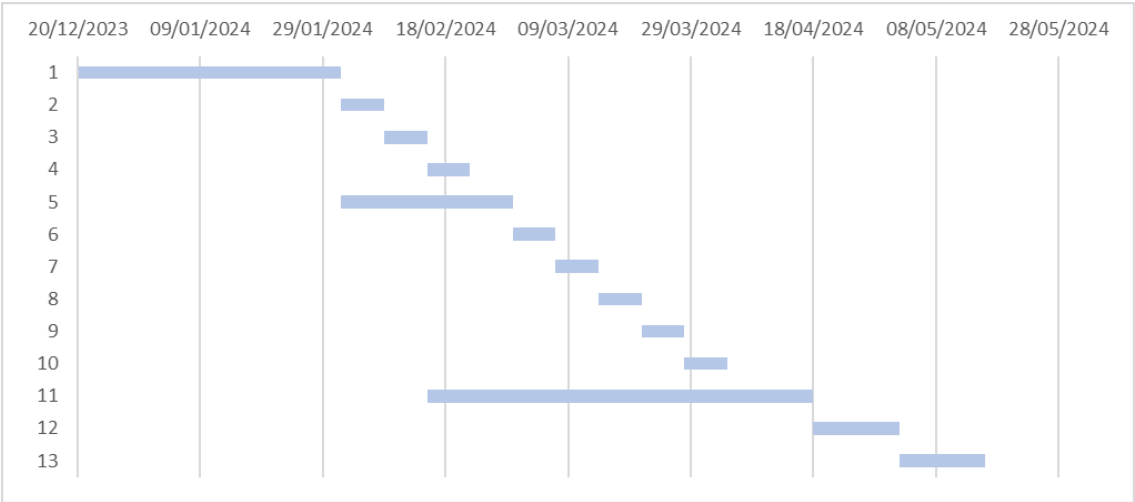


Ilustración 30. Planificación de la fabricación y montaje

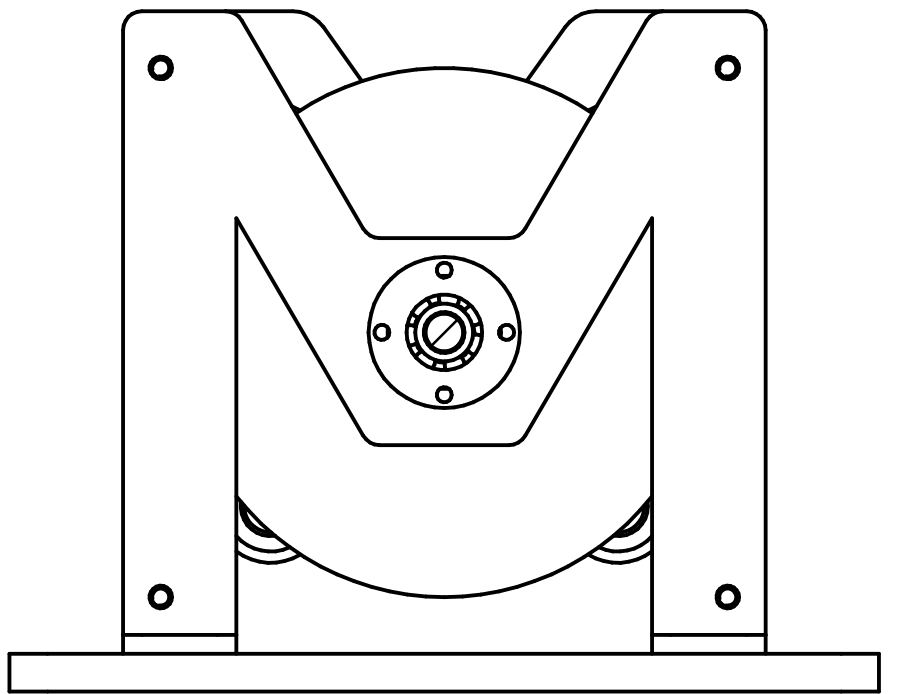
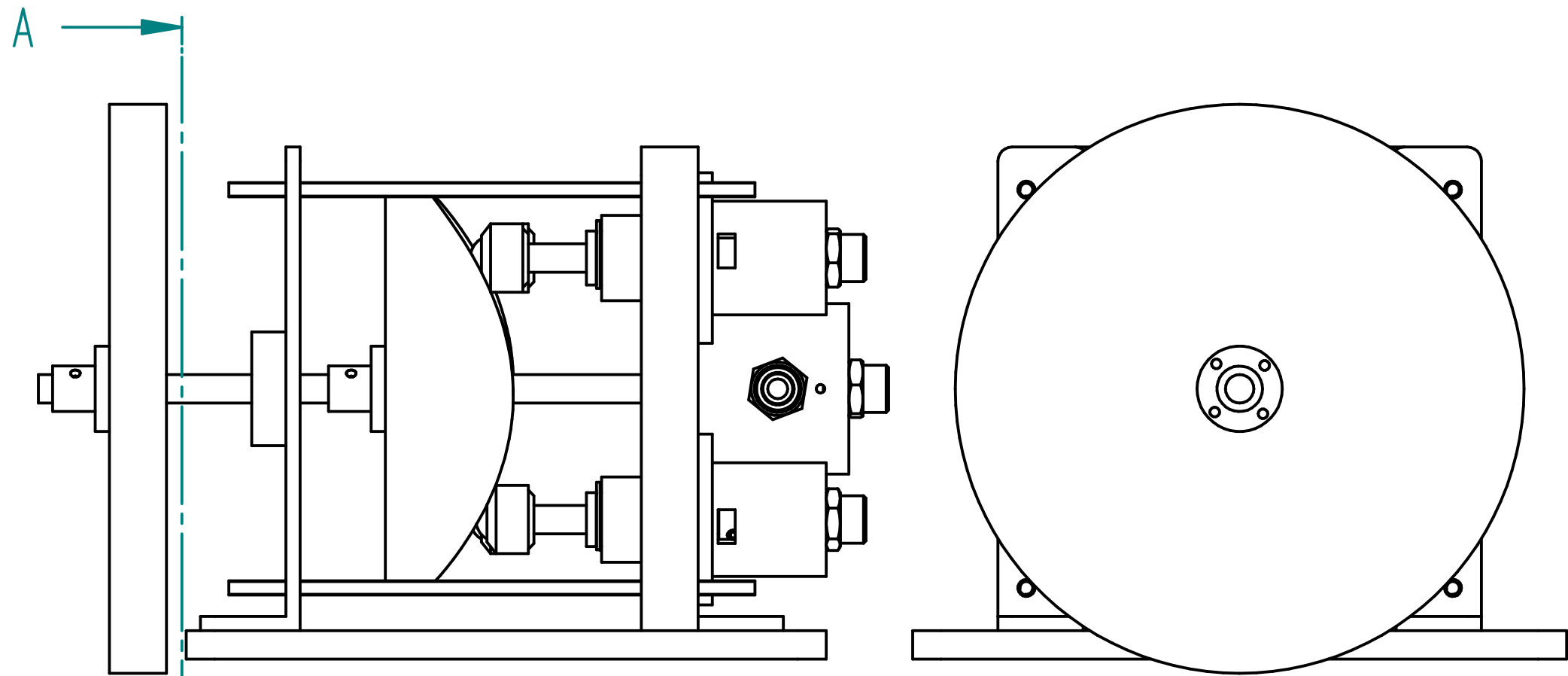
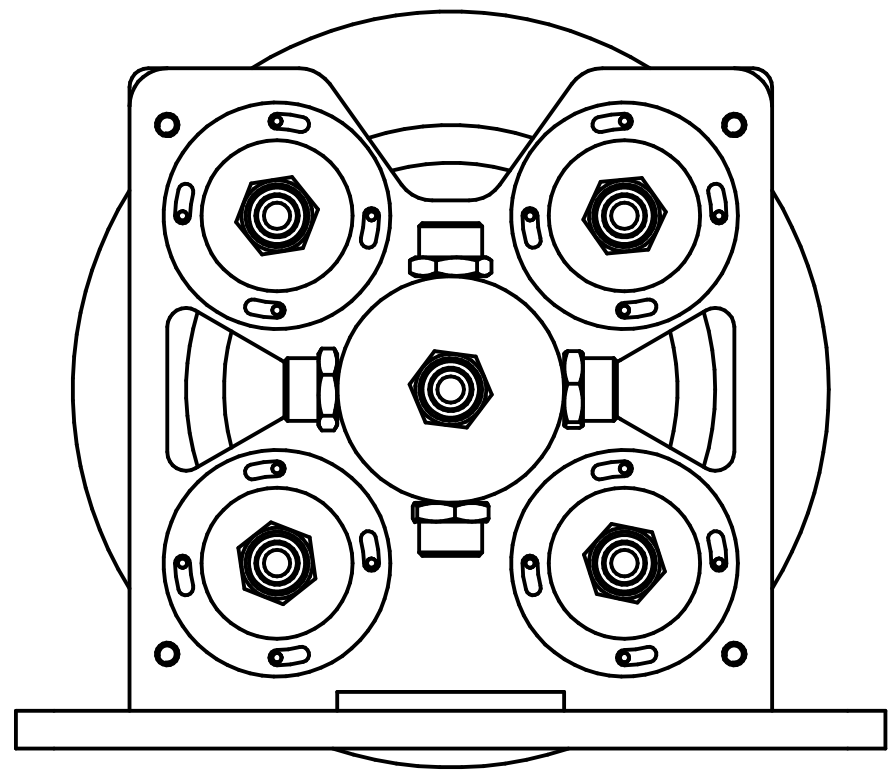
## 6. Anexo: índice de ilustraciones.

Ilustración 1: Diagrama P-V .....	7
Ilustración 2: Código matlab .....	9
Ilustración 3: Código matlab .....	9
Ilustración 4: Código matlab .....	10
Ilustración 5: Gráfica carrera-régimen .....	10
Ilustración 6: Gráfica velocidad media-régimen .....	11
Ilustración 7: Código matlab .....	12
Ilustración 8: Código matlab .....	13
Ilustración 9: Gráfica potencia-escape .....	14
Ilustración 10: Cálculo leva Matlab .....	15
Ilustración 11: Fórmulas cálculo volante de inercia .....	16
Ilustración 12: Relación espesor-radio volante de inercia .....	16
Ilustración 13: Carcasa válvula .....	17
Ilustración 14. Válvula .....	18
Ilustración 15: Carcasa cilindro .....	19
Ilustración 16: Pistón .....	20
Ilustración 17: Biela .....	21
Ilustración 18: Bola .....	21
Ilustración 19: Arandela de sujeción .....	22
Ilustración 20: Soporte válvulas y cilindros .....	22
Ilustración 21: Brida de sujeción leva .....	23
Ilustración 22: Leva .....	24
Ilustración 23: Eje .....	24
Ilustración 24: Brida sujeción rodamiento .....	25
Ilustración 25: Soporte .....	25
Ilustración 26: Base del conjunto .....	26
Ilustración 27. Planificación de la fabricación y montaje .....	29

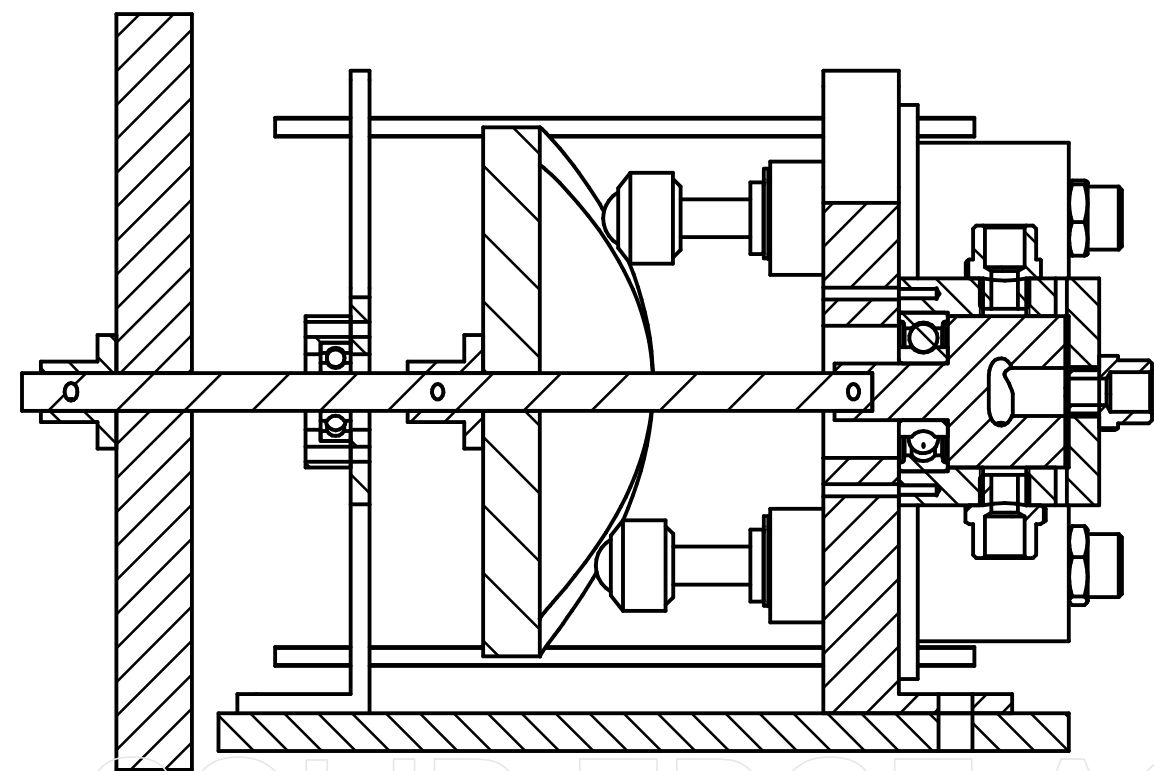
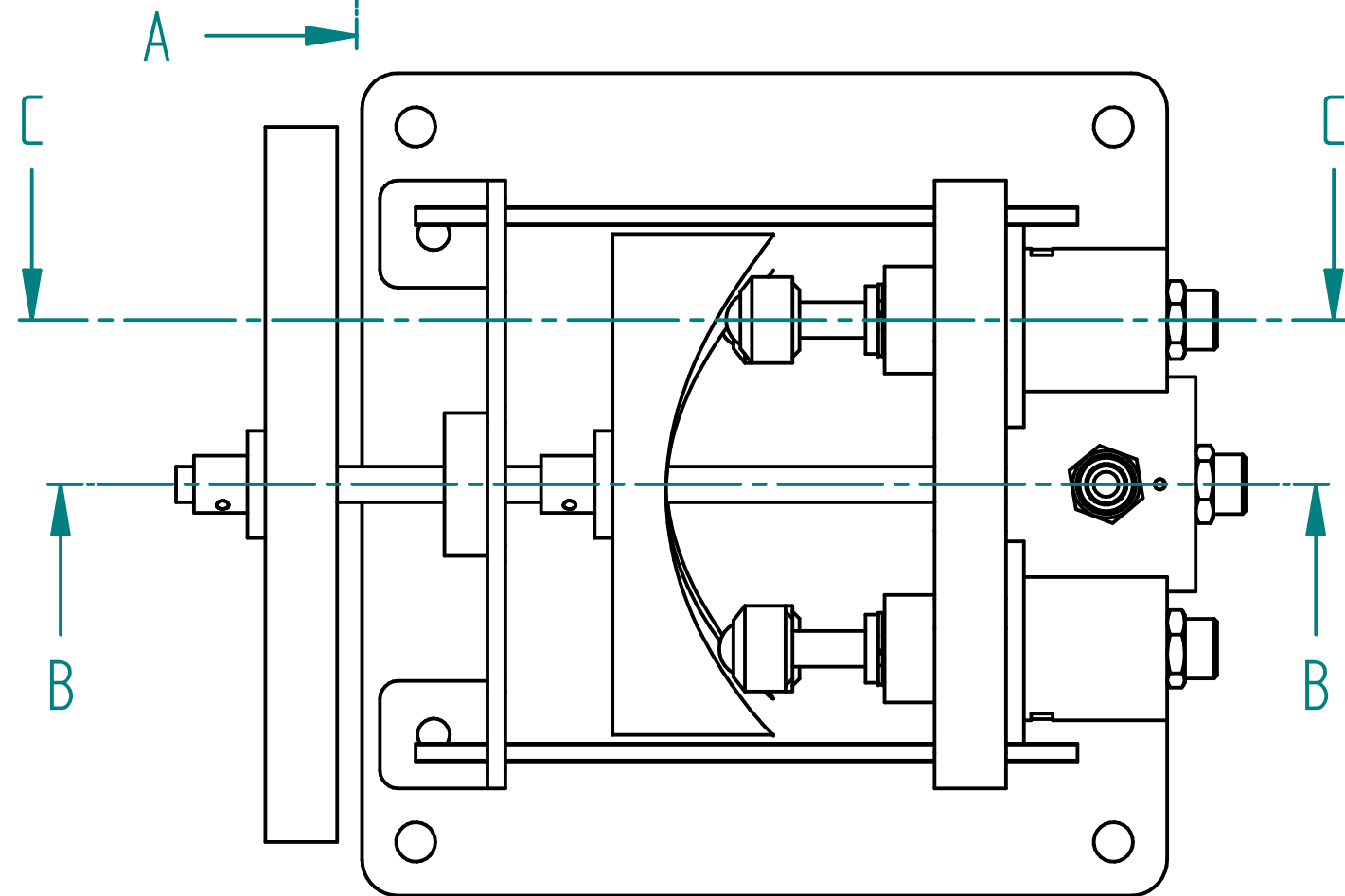


## **7. Anexo: planos.**

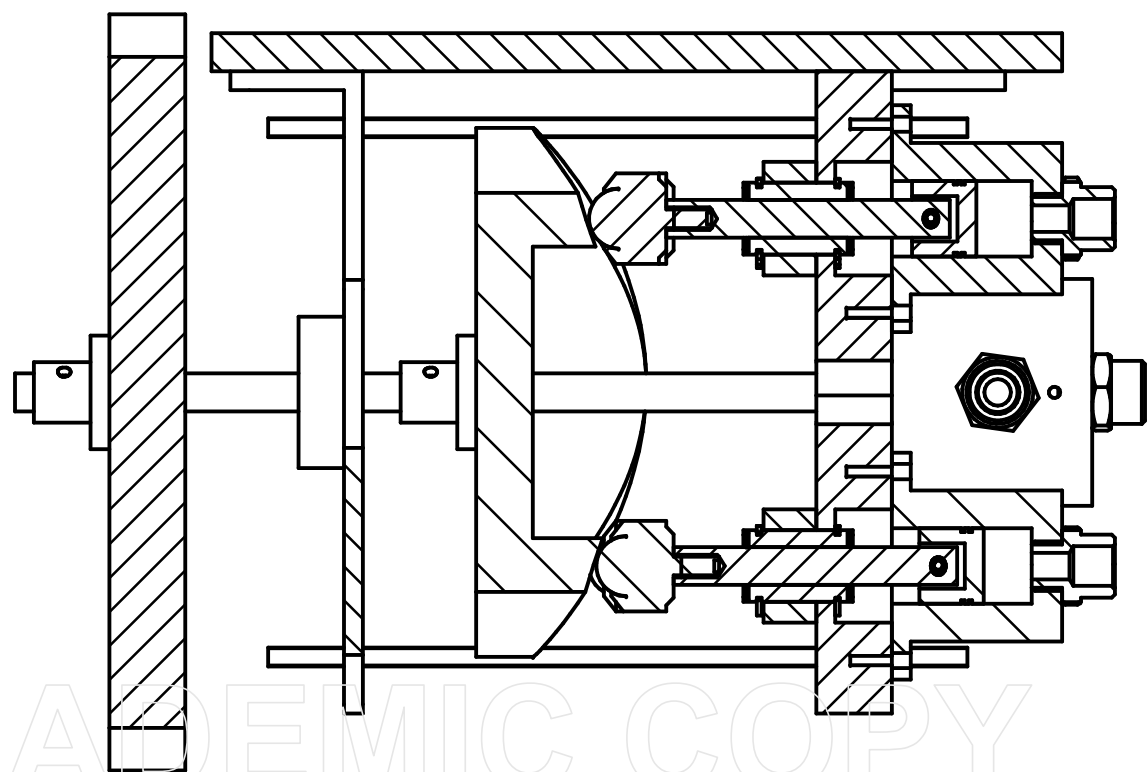




SECTION A-A



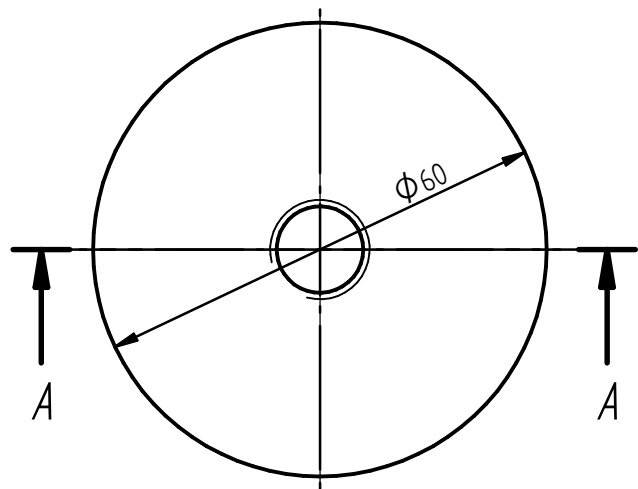
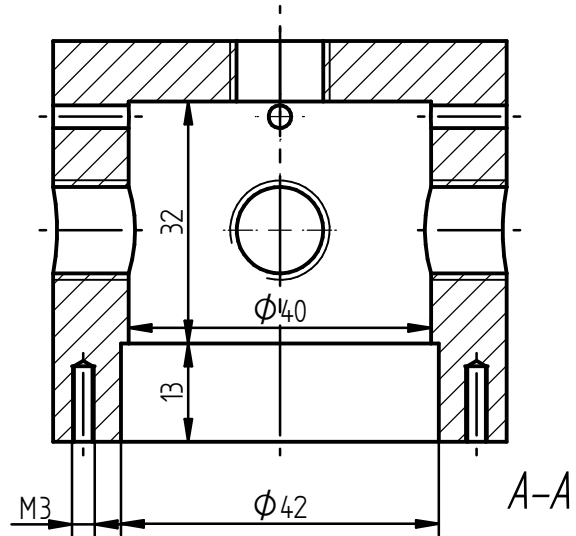
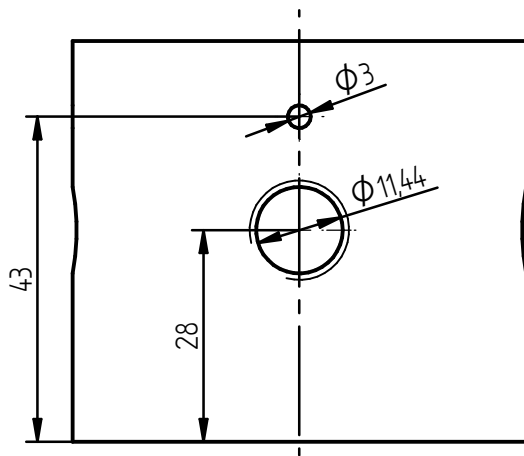
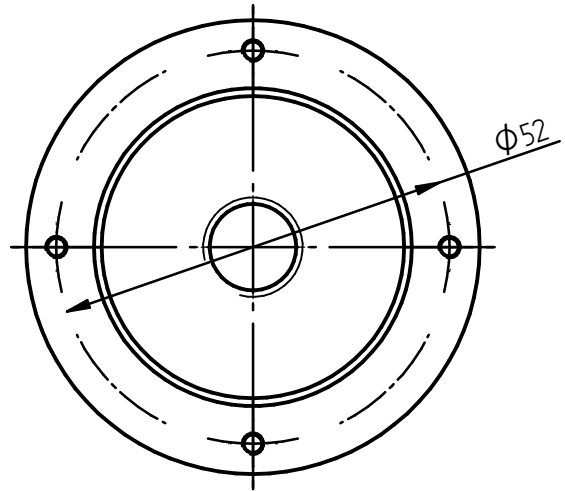
SECTION B-B




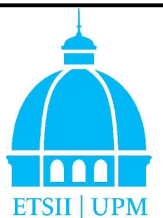
SECTION C-C

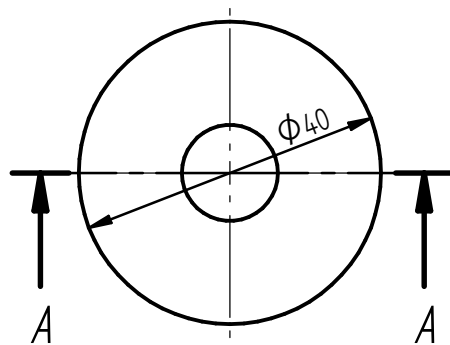
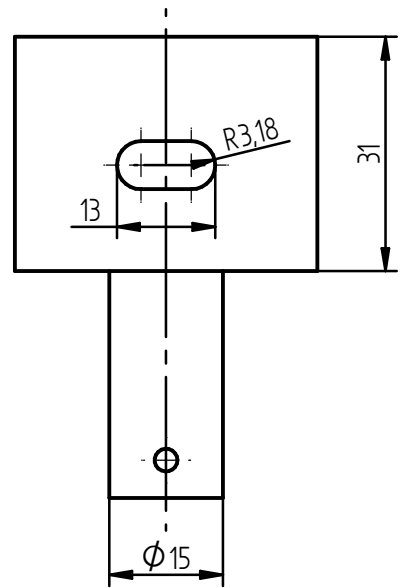
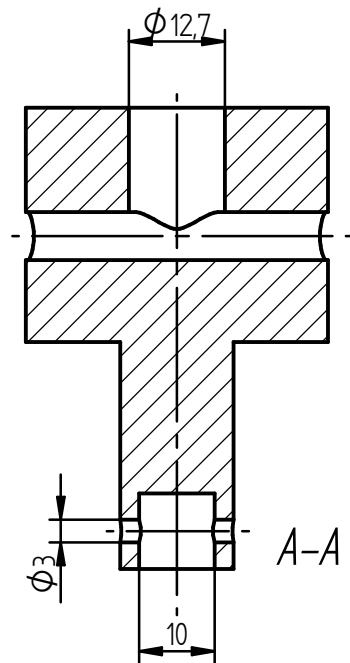
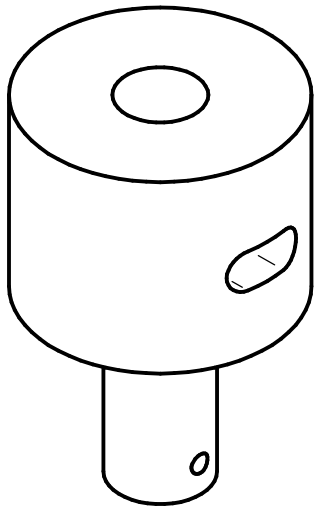
REVISION HISTORY			
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED


	NAME	DATE	Solid Edge	
DRAWN	equipoMSI	12/18/23		
CHECKED			TITLE	
ENG APPR				
MGR APPR				
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES ±XX° 2 PL ±XXX 3 PL ±XXXX			SIZE A2	DWG NO
			FILE NAME: Conjunto.dft	REV
			SCALE:	WEIGHT: SHEET 1 OF 1

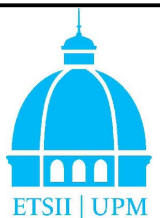


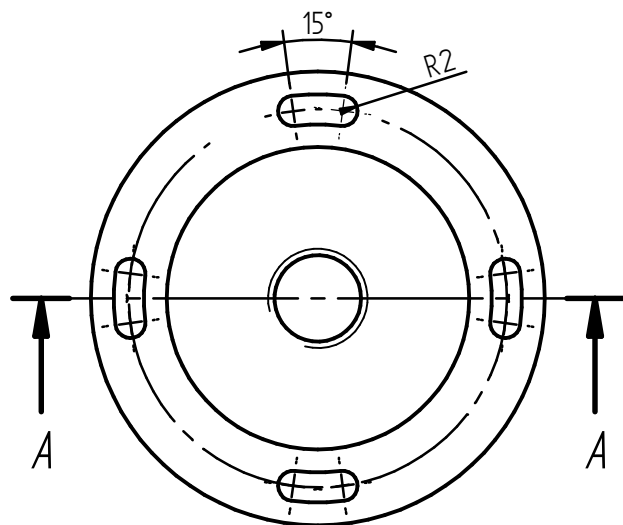
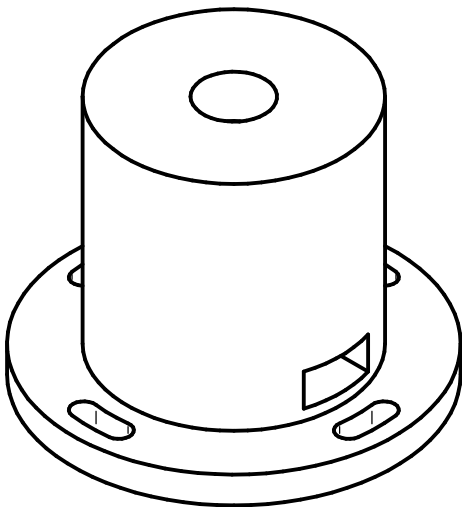
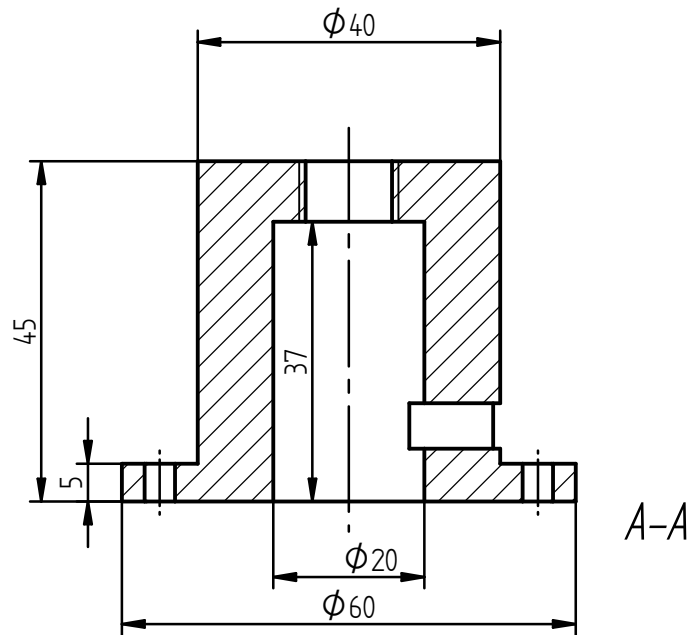
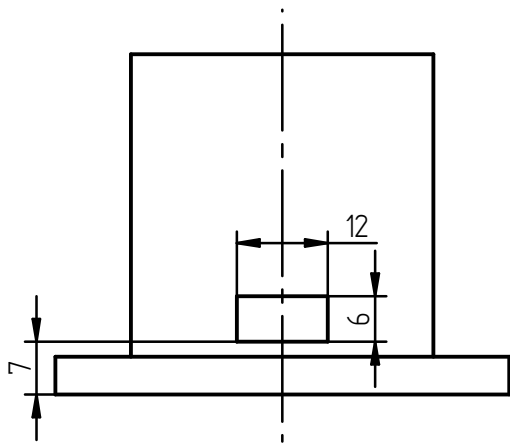
SIS. REP.	Escala:	FIRMA	DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR-CAD		
	1:1		<i>Carcasa válvula</i>		
Nombre:	Motorola	DNI	ETSII – UPM		
Apellidos:					
Matrícula:	GRADO	Fecha:			18/12/2023



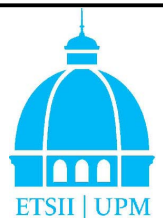


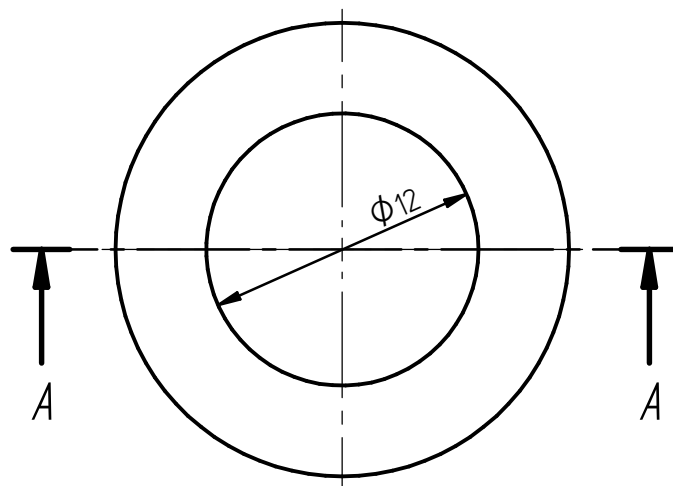
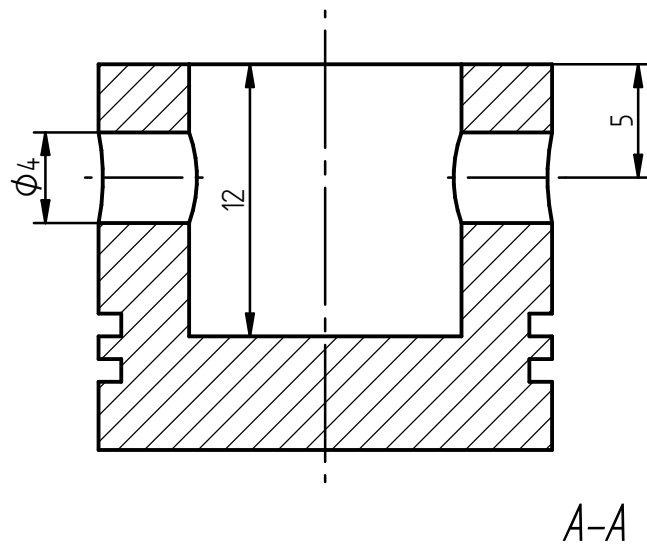
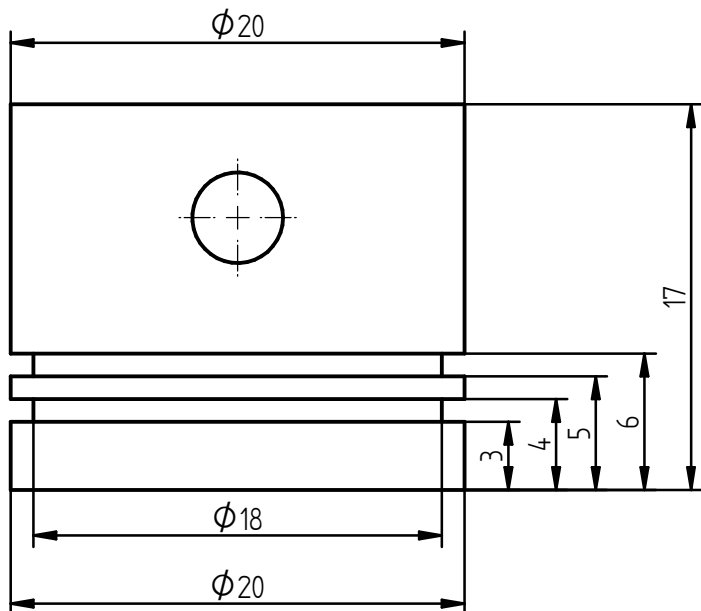
SIS. REP.	Escala:	FIRMA	DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR-CAD		
					
Nombre:		DNI	ETSII – UPM		
Apellidos:					
Matrícula:		GRADO			Fecha:





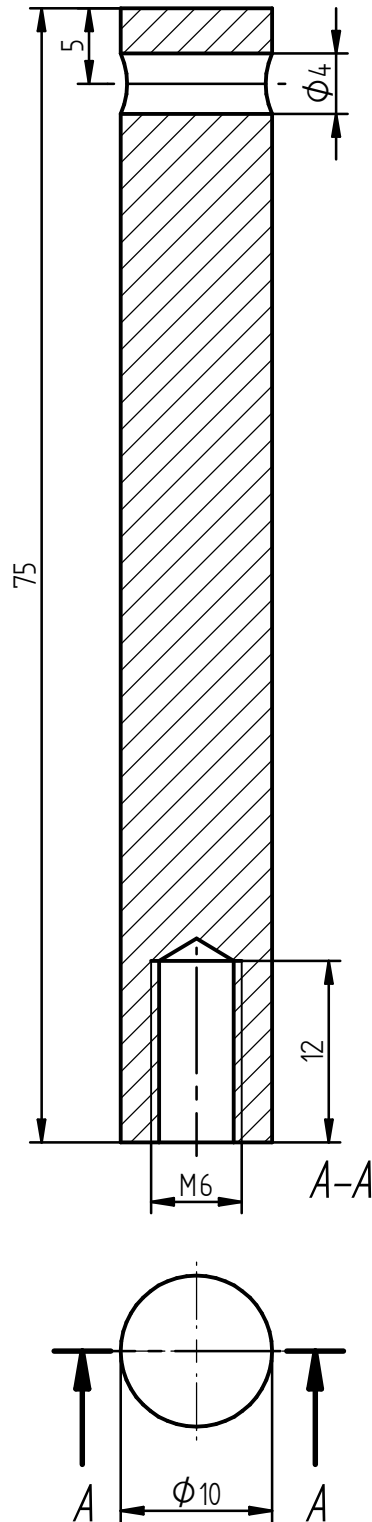
SIS. REP.	Escala:	FIRMA	DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR-CAD	
	1:1		<i>Carcasa cilindro</i>	
Nombre:	Motor.ola	DNI	ETSII - UPM	
Apellidos:				
Matrícula:	GRADO	Fecha:		
		18/12/2023		





SIS. REP.	Escala:	FIRMA	DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR-CAD	
	3:1		Cabeza pistón	
Nombre:	Motor.ola	DNI	ETSII - UPM	
Apellidos:				
Matrícula:	GRADO	Fecha:		
		18/12/2023		

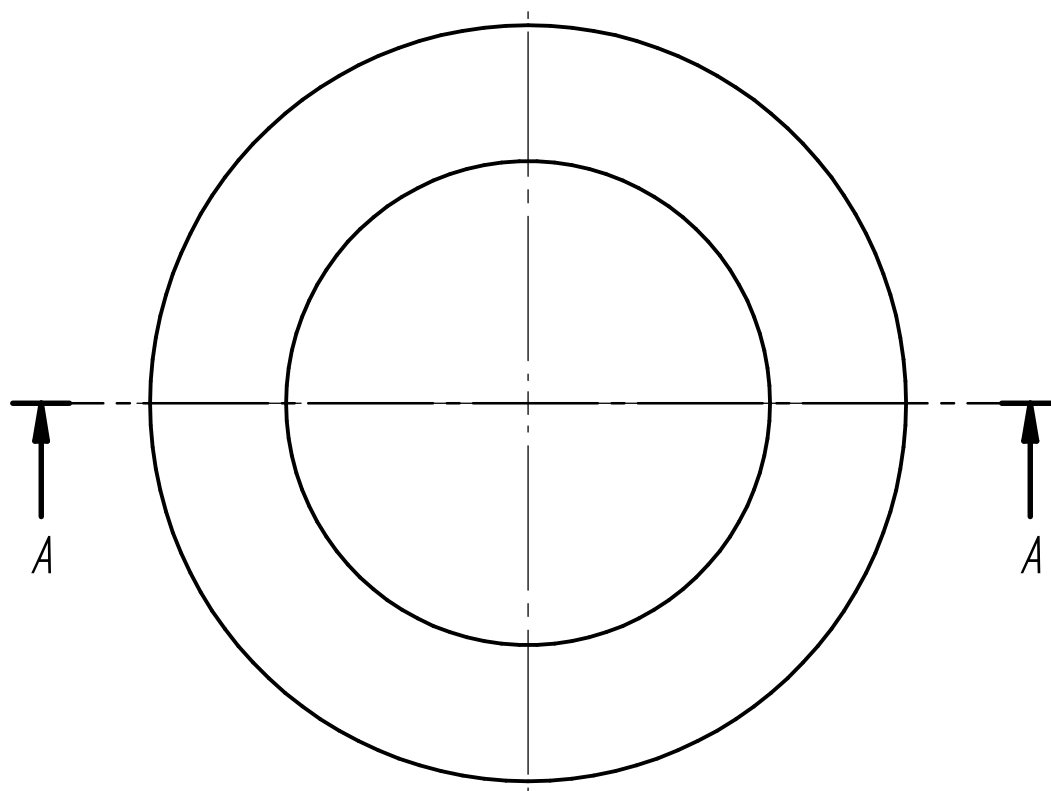
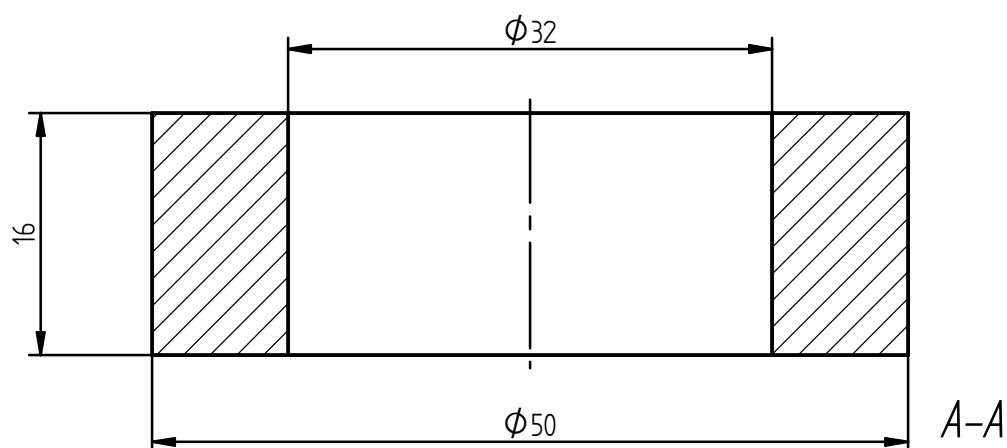




SIS. REP.	Escala:	FIRMA	DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR-CAD		
	2:1		<i>Cuerpo pistón</i>		
Nombre:	Motorola	DNI	ETSII – UPM		
Apellidos:					
Matrícula:	GRADO	Fecha:			18/12/2023

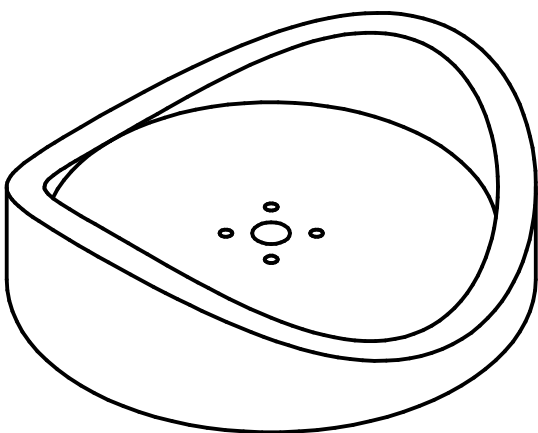
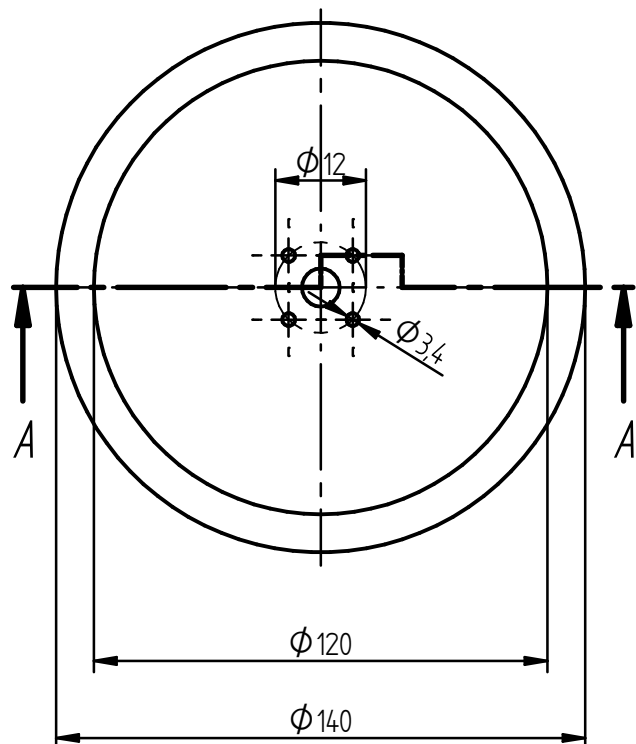
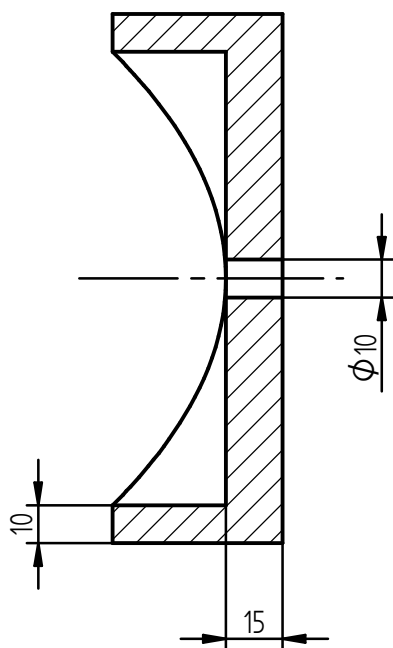
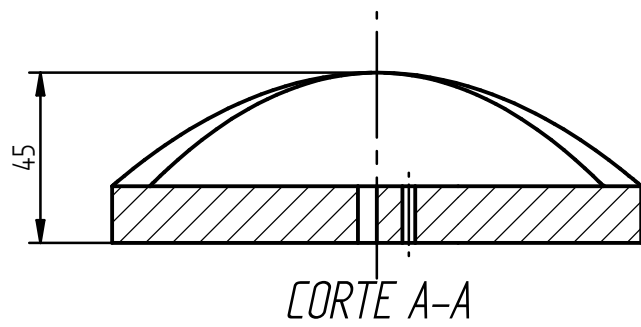
  
ETSII | UPM







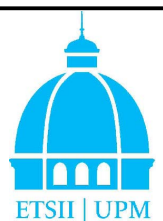
SIS. REP.	Escala:	FIRMA	DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR-CAD	
	2:1		<i>Arandela rodamiento lineal</i>	
Nombre:	Motorola	DNI		
Apellidos:			ETSII - UPM	
Matrícula:	GRADO	Fecha: 18/12/2023		



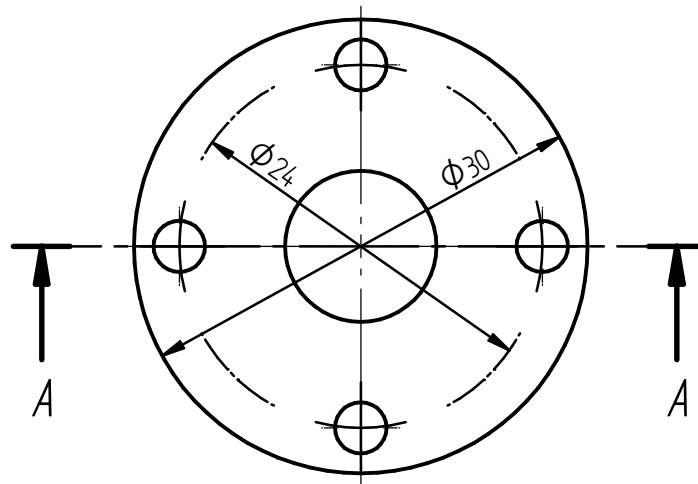
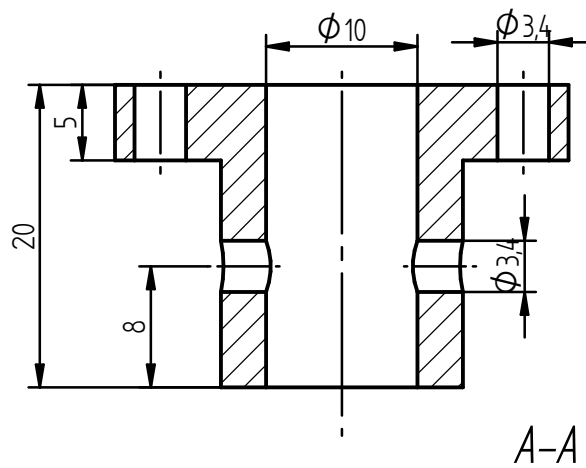


SIS. REP.	Escala:	FIRMA	DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR-CAD	
	1:2		Leva	
Nombre:		DNI	ETSII – UPM	
Apellidos:				
Matrícula:	GRADO	Fecha:		

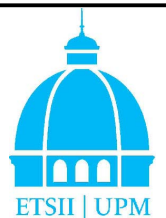
  
ETSII | UPM

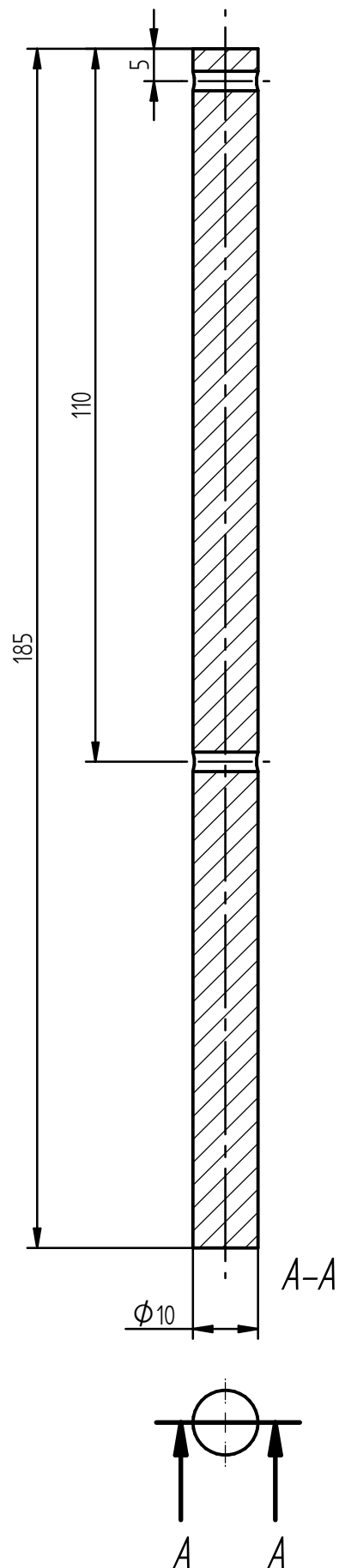






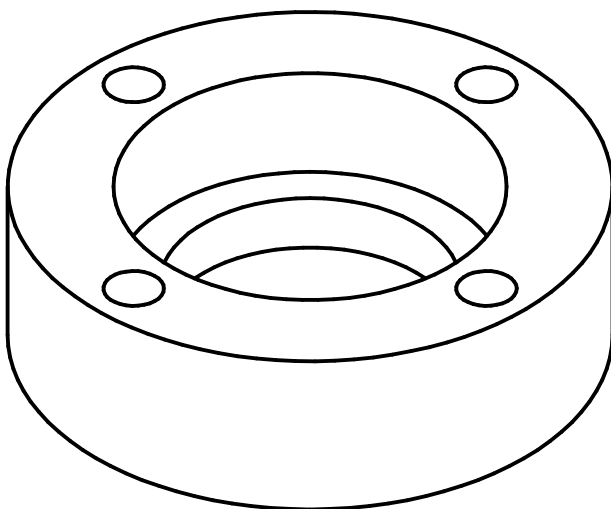
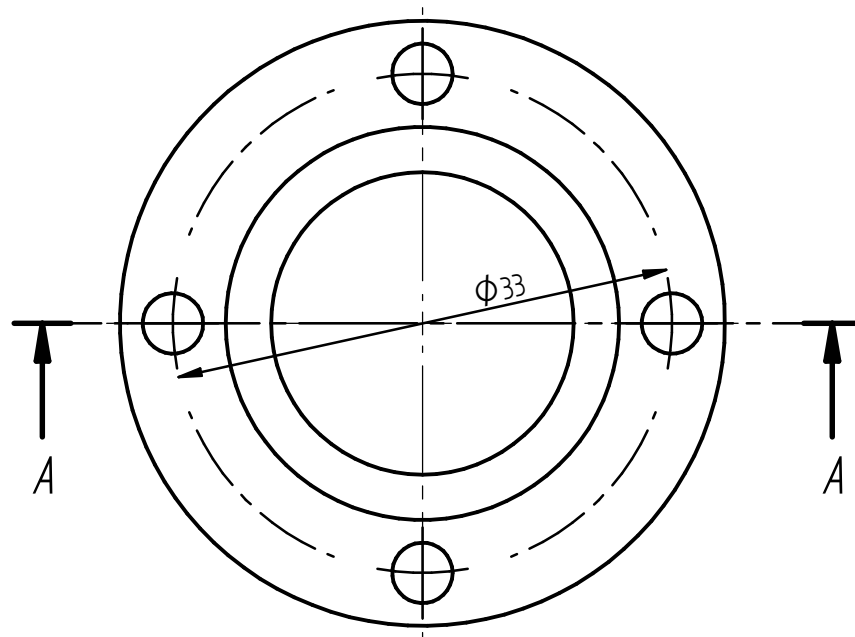
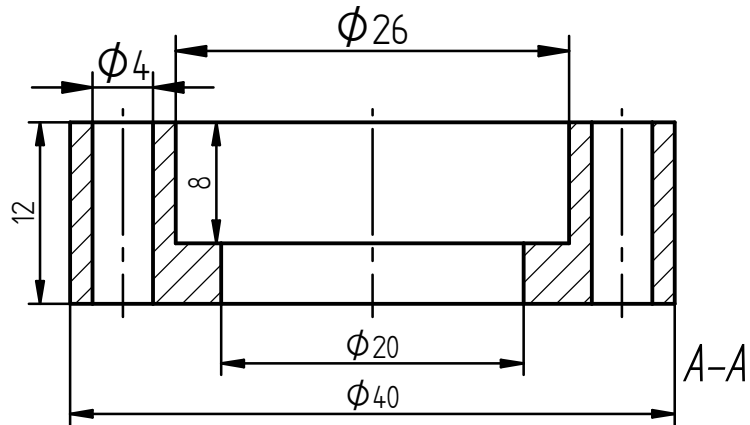
SIS. REP.	Escala:	FIRMA	DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR-CAD	
	2:1		<i>Brida Leva</i>	
Nombre:	Motorola	DNI	ETSII - UPM	
Apellidos:				
Matrícula:	GRADO	Fecha:		
		18/12/2023		



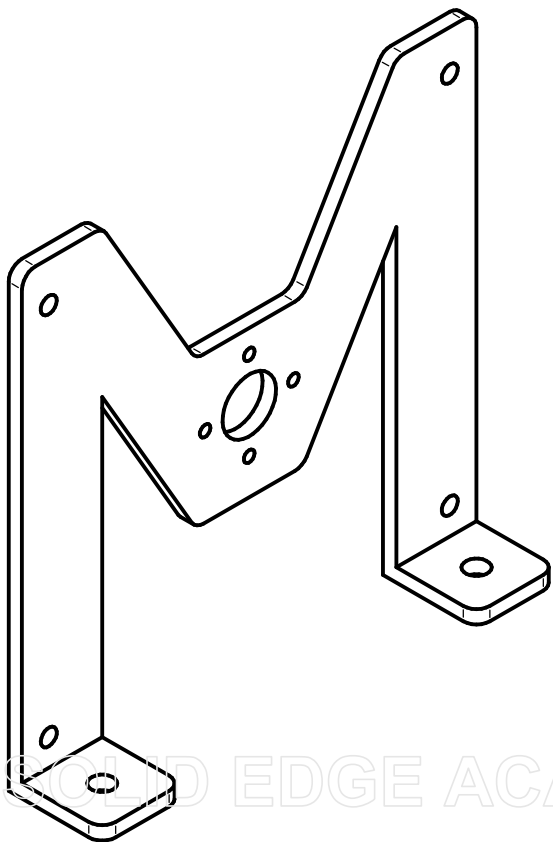
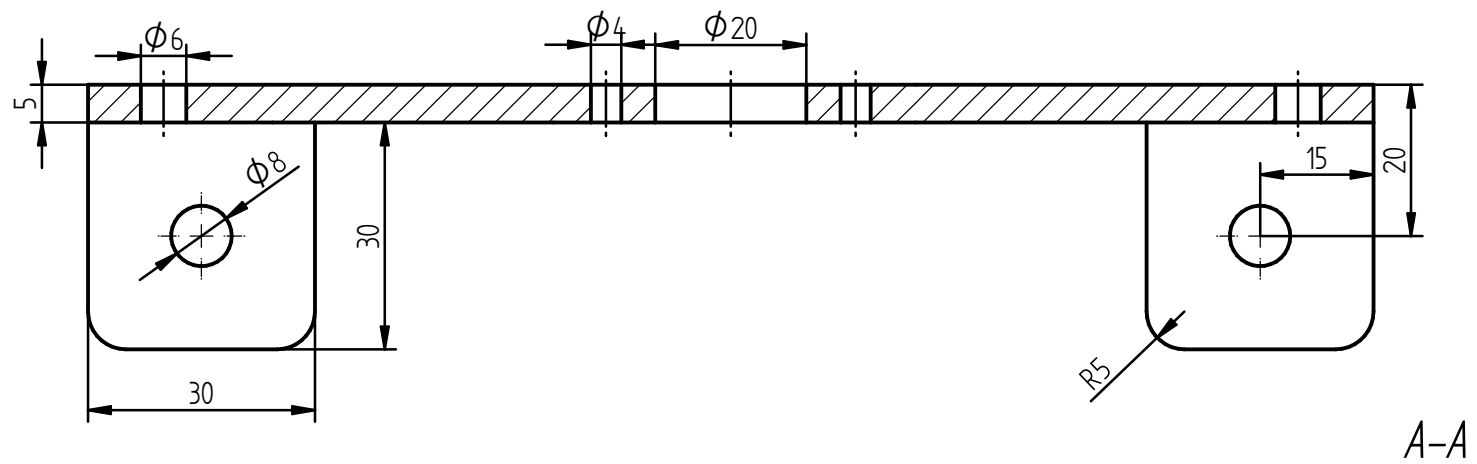
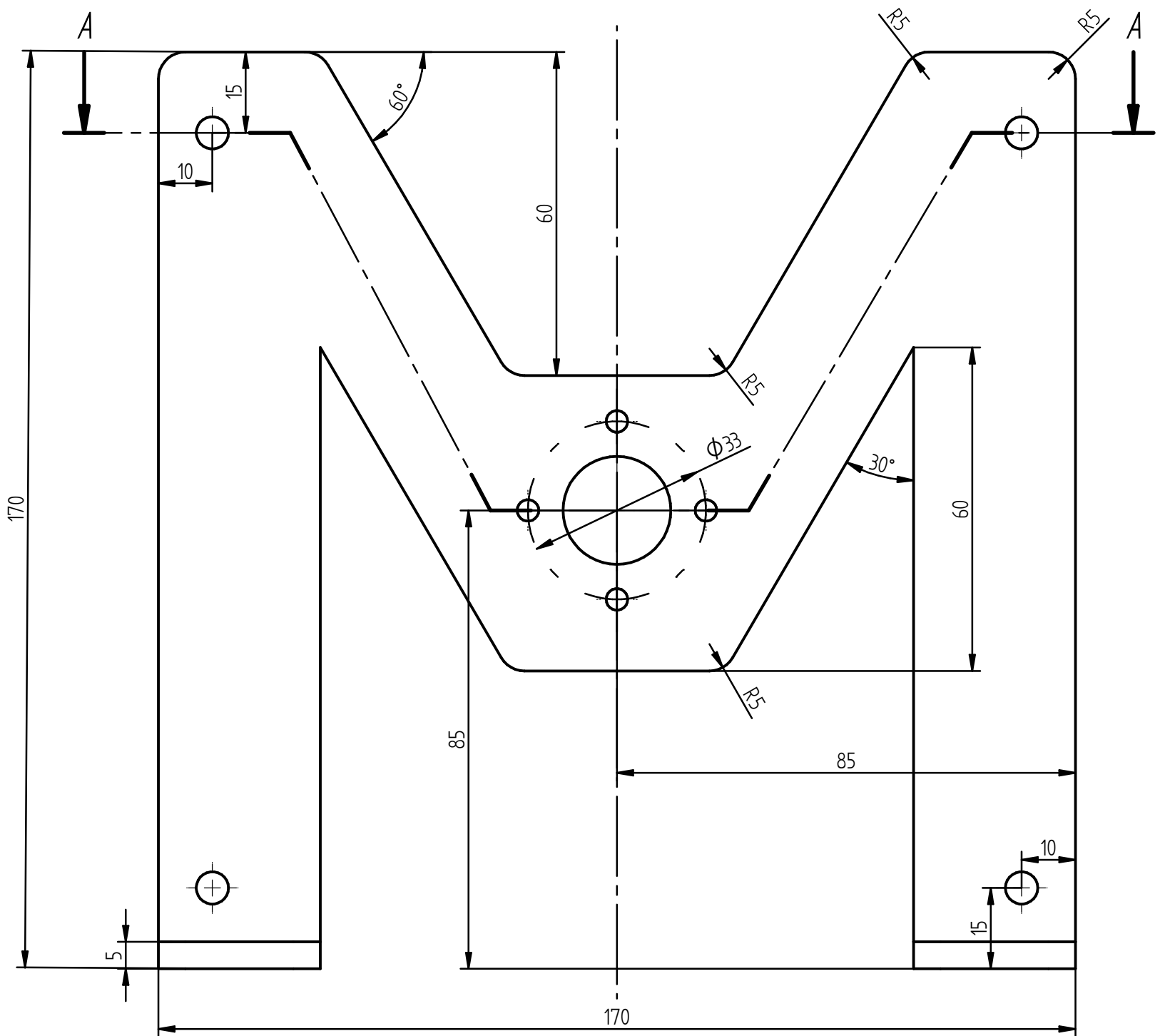


SIS. REP.	Escala:	FIRMA	DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR-CAD	
Nombre:	DNI		ETSII - UPM	
Apellidos:				
Matrícula:	GRADO	Fecha:		

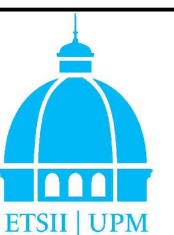


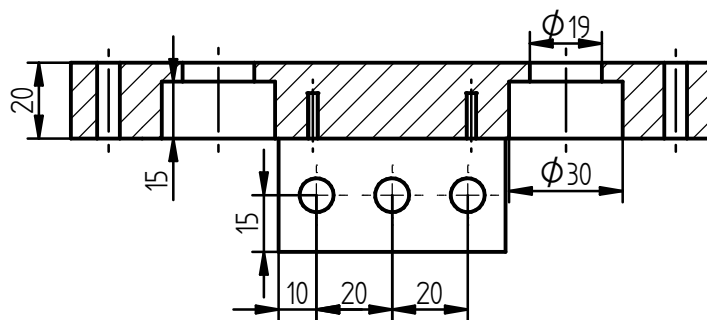


SIS. REP.	Escala:	FIRMA	DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR-CAD		
	2:1		<i>Casquillo rodamiento soporte</i>		
Nombre:	Motorola	DNI			
Apellidos:			ETSII – UPM		
Matrícula:		GRADO	Fecha:	18/12/2023	

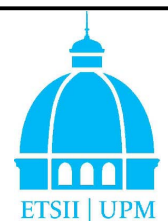


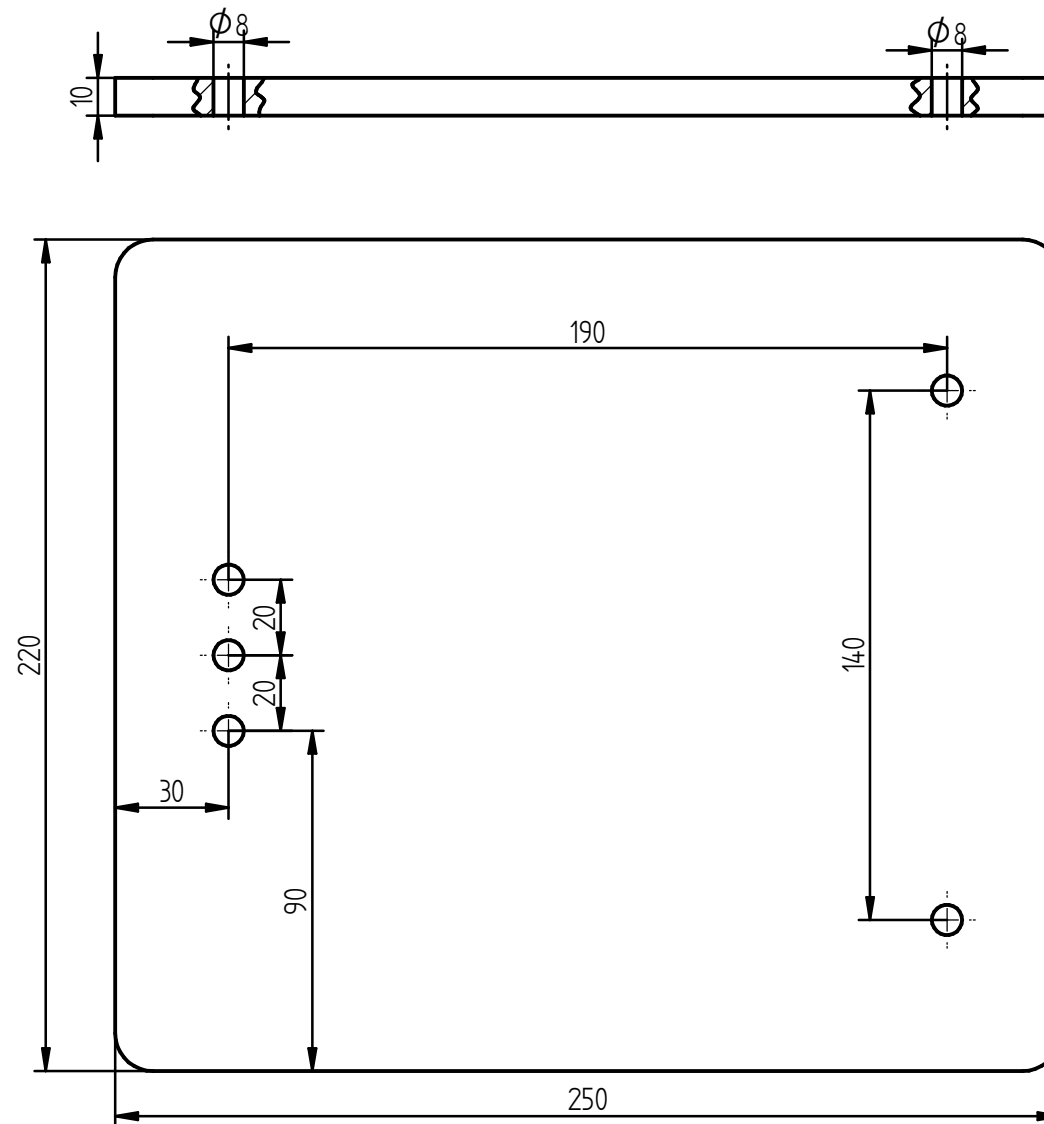
SIS. REP.	Escala:	FIRMA	DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR-CAD	
	1:1		Soporte M	
Nombre:	Apellidos:	DNI	ETSII - UPM	
Matrícula:	GRADO	Fecha:		

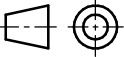


 $B-B$ 

SIS. REP.	Escala:	FIRMA	DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR-CAD	
 	1:2		Soporte	
Nombre:	Motorola	DNI	ETSII – UPM	
Apellidos:				
Matrícula:	GRADO	Fecha: 18/12/2023		





SIS. REP.	Escala:	FIRMA	DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR-CAD	
	1:2		Base	
Nombre:		DNI	ETSII - UPM	
Apellidos:				
Matrícula:		GRADO		
		Fecha:		

