



UNIVERSIDAD DE JAÉN  
*Escuela Politécnica Superior de Jaén*

Trabajo Fin de Grado

**INGENIERÍA GRÁFICA Y  
ANÁLISIS DESDE LA  
INGENIERÍA MECÁNICA DE UN  
MOTOR DE VAPOR  
HORIZONTAL DE DOS  
CILINDROS CON VÁLVULAS DE  
ENGRANAJE 'JOY'**

**Alumno: Francisco Manuel López Pérez**

Tutor: Prof. Dr. D. José Ignacio Rojas Sola

Dpto.: Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

**Octubre, 2023**



Universidad de Jaén  
Escuela Politécnica Superior de Jaén  
Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

Don JOSÉ IGNACIO ROJAS SOLA, tutor del Trabajo Fin de Grado titulado: INGENIERÍA GRÁFICA Y ANÁLISIS DESDE LA INGENIERÍA MECÁNICA DE UN MOTOR DE VAPOR HORIZONTAL DE DOS CILINDROS CON VÁLVULAS DE ENGRANAJE 'JOY', que presenta FRANCISCO MANUEL LÓPEZ PÉREZ, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, OCTUBRE de 2023

El alumno:

El tutor:

FRANCISCO MANUEL LÓPEZ PÉREZ

JOSÉ IGNACIO ROJAS SOLA

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
1.1. Entorno de la investigación	3
1.2. Objetivos	3
<b>2. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>4</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>22</b>
3.1. Ingeniería gráfica: modelado tridimensional y documentación gráfica	22
3.1.1. Descripción del modelado tridimensional	22
3.1.2. Descripción del ensamblaje	67
3.1.3. Descripción del funcionamiento	78
3.2. Ingeniería asistida por ordenador: Análisis estático por elementos finitos	82
3.2.1. Selección de materiales	83
3.2.2. Condiciones de contorno	83
3.2.3. Posiciones críticas	84
3.2.4. Envolvente de esfuerzos	85
3.2.5. Mallado	87
3.2.6. Análisis modal y estático	88
3.3. Recreación virtual	104
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>108</b>
<b>5. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO: PLANOS</b>	<b>111</b>

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. ENTORNO DE LA INVESTIGACIÓN**

Este TFG se ha desarrollado dentro de la línea de investigación titulada "Ingeniería Gráfica aplicada al Patrimonio Histórico" que dirige el Catedrático Prof. Dr. D. José Ignacio Rojas Sola desde 1996.

Su justificación se debe a que la invención histórica objeto del presente TFG fue relevante por el avance de la técnica que supuso en su época. Henry Muncaster fue un ingeniero marino inglés [1] que contribuyó decididamente al diseño de motores estacionarios [2] para ser implementados en barcos y ferrocarriles.

### **1.2. OBJETIVOS**

Los objetivos concretos perseguidos por el presente TFG son:

1. Manejo de bibliografía relacionada.
2. Modelización CAD 3D de la invención histórica a partir de la información recopilada, con software de diseño asistido por ordenador, así como la obtención de su documentación gráfica (planos de conjunto, planos de despiece y perspectivas estalladas).
3. Realización de un análisis desde la ingeniería mecánica de dicha invención histórica.
4. Realización de una recreación virtual de su funcionamiento.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se inicia este TFG, con la descripción de los métodos e instrumentos utilizados, comenzando por la adquisición de medidas, como primer paso, hasta concluir con la demostración de su funcionamiento, mediante una recreación virtual.

Para modelar el dispositivo histórico se recurre al software Autodesk Inventor Professional 2022 [3]. Este software ofrece una amplia gama de herramientas y funciones que permiten a los usuarios crear modelos 3D precisos y detallados, realizar simulaciones de ingeniería para validar y optimizar el diseño, crear planos y documentación. Se comienza con la modelización de cada una de las piezas que constituyen la invención procediendo, por último, a su ensamblaje.

Al inicializar Autodesk Inventor Profesional (Ilustración 1) aparece una ventana inicial donde se presentan las diferentes opciones a realizar.

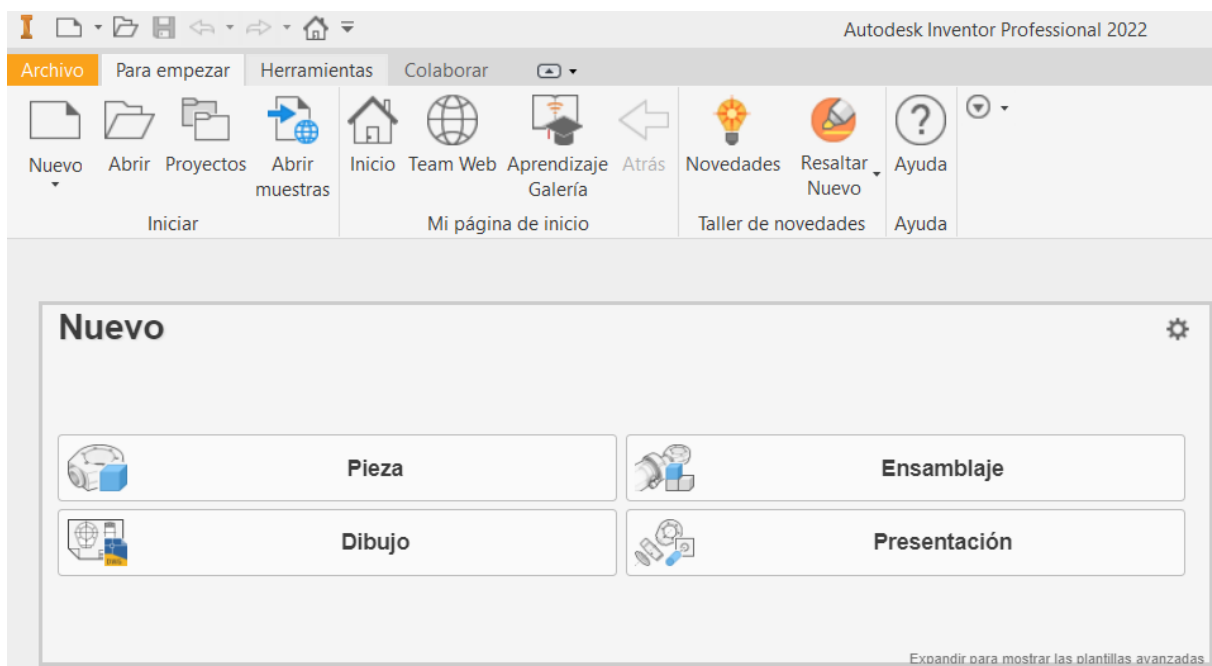


Ilustración 1. Ventana de inicio de Autodesk Inventor Professional 2022.

Estas opciones son:

- *Pieza*: Autodesk Inventor permite crear piezas 3D a partir de bocetos 2D utilizando una amplia variedad de herramientas y características de modelado.
- *Ensamblaje*: Esta función permite crear y ensamblar diferentes piezas para formar un conjunto más grande. Además, se puede añadir restricciones y movimientos para simular el comportamiento de los ensamblajes en la vida real.
- *Dibujo*: permite generar dibujos técnicos y planos de ingeniería con detalles precisos y dimensiones exactas.
- *Presentación*: Se utiliza para crear presentaciones animadas de ensamblajes, partes y dibujos. Esta herramienta permite crear una serie de vistas y transiciones animadas para mostrar cómo funciona un diseño.

En el proceso de modelado se conforman las piezas que más tarde se abrirán en la opción 'Ensamblaje' para unir las o restringirlas con otras y así, obtener el conjunto deseado. Para iniciar el modelado es necesario clicar en la opción 'Pieza', ya que así se abre la pantalla donde se pueden realizar diferentes formas de diseño (Ilustración 2).

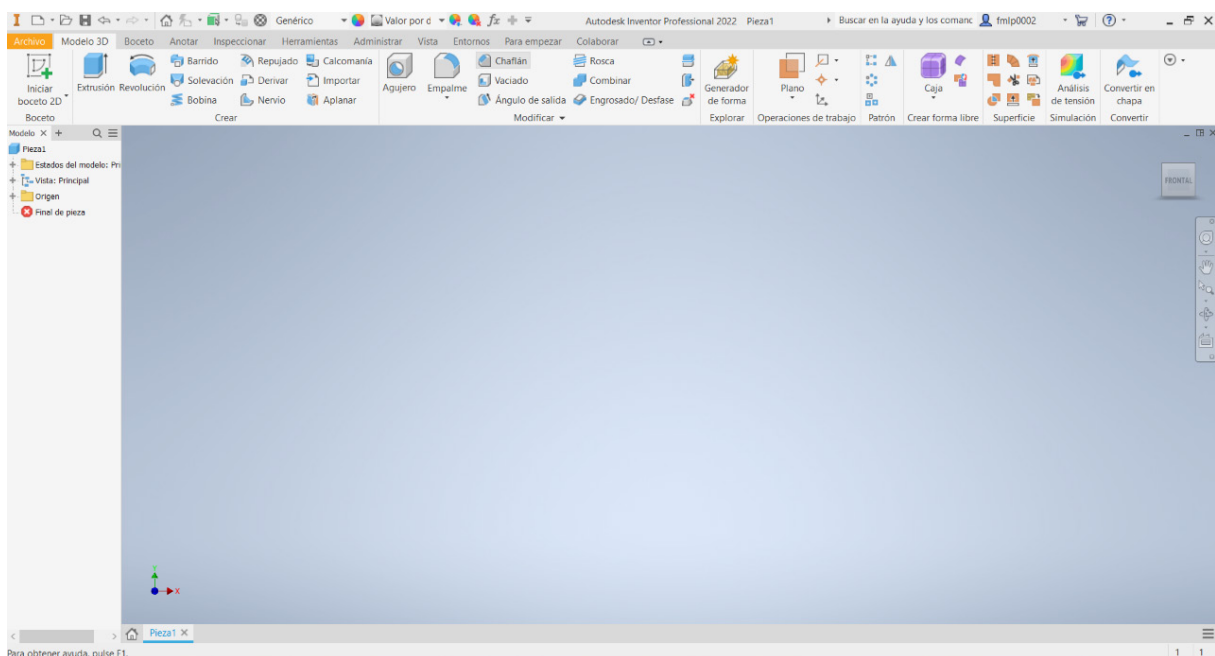


Ilustración 2. Entorno para la creación de los modelos.

En la parte superior derecha (Ilustración 3 (izquierda)), se encuentra el cubo de vistas, una herramienta de navegación 3D que se utiliza para mover y girar un modelo en el espacio de trabajo, muy útil para visualizar diferentes perspectivas y ángulos de vista. Asimismo, en la parte inferior a este cubo, se encuentra la barra de navegación (Ilustración 3 (derecha)), que permite un movimiento a cualquier parte de la ventana gráfica del modelo.



Ilustración 3. Cubo de vistas y barra de navegación.

Otra de las herramientas principales en la pantalla de inicio, es el menú de marcado (Ilustración 4). Éste, se activa al hacer clic derecho en cualquier parte de la ventana gráfica y sus herramientas cambian según la fase de diseño del proceso de modelado, lo que permite acceder a estas herramientas de forma más rápida y eficiente, sin tener que buscarlas en las barras de herramientas del menú principal y en sus paneles correspondientes.

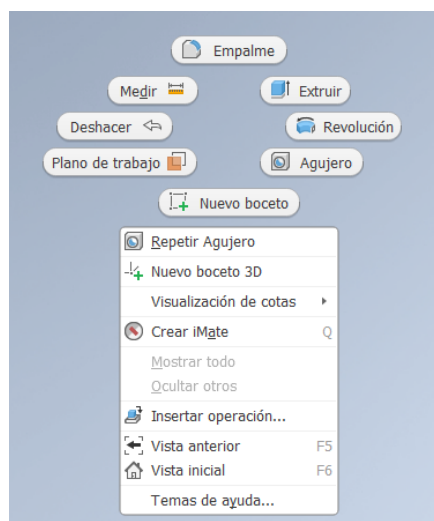


Ilustración 4. Menú de marcado.

Para comenzar con el modelado, en primer lugar, se dibuja un boceto 2D, y su posterior dimensionado añadiendo las correspondientes medidas. Para ello, se ha de seleccionar la pestaña 'Modelo 3D' (Ilustración 5), y dentro de ella, la primera opción que indica 'Boceto', 'Iniciar Boceto 2D' (Ilustración 6). Una vez se hace clic en esta opción, se debe elegir el plano de dibujo, existiendo diferentes acciones que se pueden realizar.



Ilustración 5. Barra de herramientas de la pestaña 'Modelo 3D'.

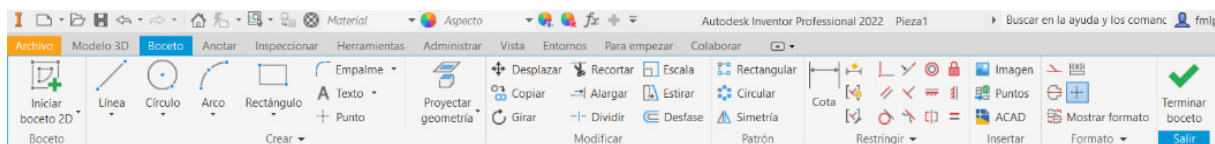


Ilustración 6. Barra de herramientas de la pestaña 'Boceto'.

En este boceto, se pueden realizar varias operaciones, como dibujar líneas, curvas, formas geométricas y establecer dimensiones, entre otras. Después de definir el boceto, se hace clic en el botón 'Terminar boceto' para volver a la barra de herramientas de la pestaña 'Modelo 3D'. En este entorno, se pueden realizar diversas operaciones en la figura 3D, como extrusión, creación de chaflanes, cortes, vaciados, empalmes, engranajes y roscados, entre otras (Ilustración 5). Este proceso se realiza para cada pieza individual que conforma el conjunto final. Una vez que se han creado todas las piezas, se procede al ensamblaje. Para ello, se selecciona la opción de 'Ensamblaje' (Ilustración 1) y se accede a un entorno con una barra de herramientas específica para esta fase del proceso de diseño (Ilustración 7).

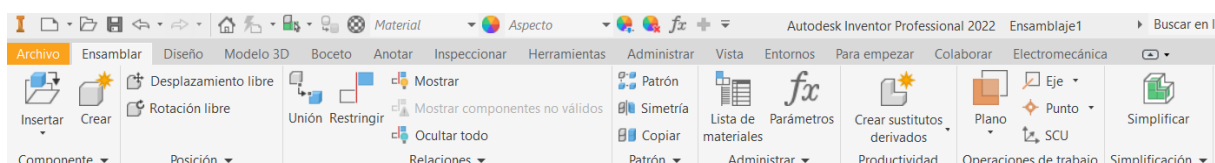
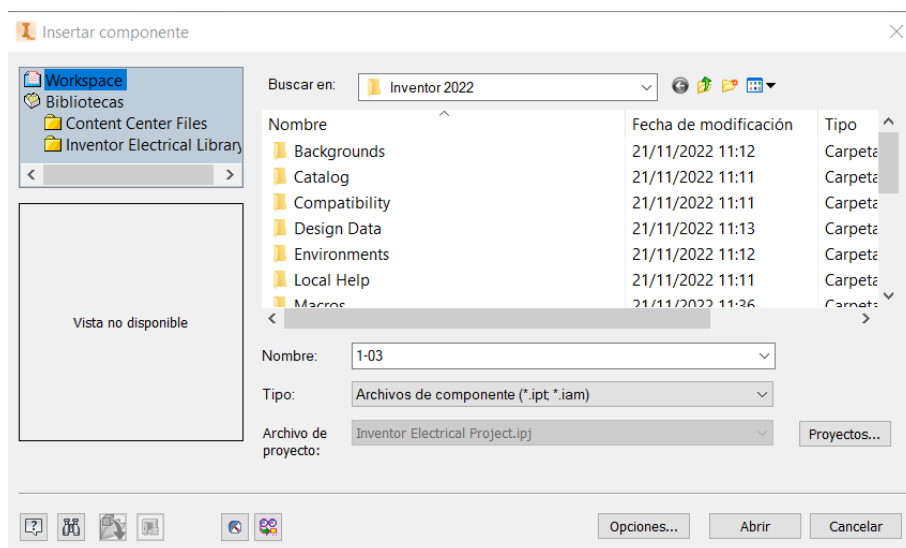


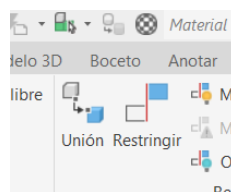
Ilustración 7. Barra de herramientas de la pestaña 'Ensamblar'.

Las herramientas más utilizadas son 'Insertar' y 'Crear'. Con 'Insertar' se pueden agregar a la pantalla gráfica las diferentes piezas que se desean ensamblar. Al hacer clic en el botón 'Insertar', aparece una ventana de diálogo donde se pueden seleccionar los archivos de las piezas que ya han sido modeladas y que se desean importar desde una ubicación específica (Ilustración 8).



**Ilustración 8. Ventana de diálogo para la selección de las diferentes piezas.**

En la barra de herramientas de la pestaña 'Ensamblar', aparecen las herramientas para definir las relaciones entre piezas: 'Unión' y 'Restringir' (Ilustración 9).



**Ilustración 9. Herramientas de 'Unión' y 'Restringir'.**

La herramienta 'Unión' se utiliza para determinar la colocación y movimientos del ensamblaje, mientras que la herramienta 'Restricción' se utiliza para controlar la posición y el comportamiento de los componentes de una manera más precisa.

Al seleccionar la opción 'Restringir', se abre un cuadro de diálogo en el que aparecen las siguientes pestañas:

- *Ensamblaje*: se puede elegir el 'Tipo' que incluye coincidencia, ángulo, tangente, inserción o simetría. En 'Solución' se mostrarán diferentes opciones de solución que describen cómo los componentes se ajustarán entre sí. También se puede ajustar el 'Desfase' o distancia entre los componentes restringidos para lograr una colocación precisa y personalizada (Ilustración 10).

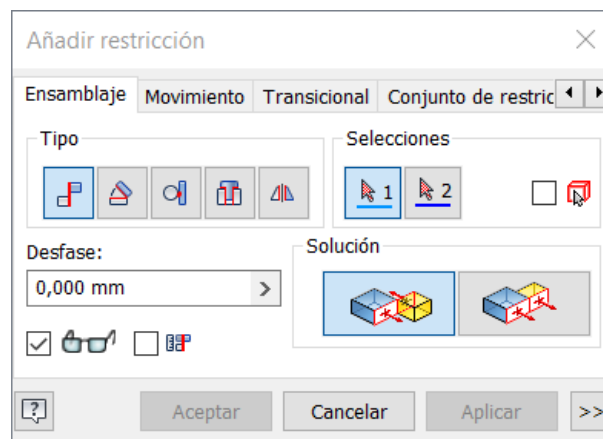
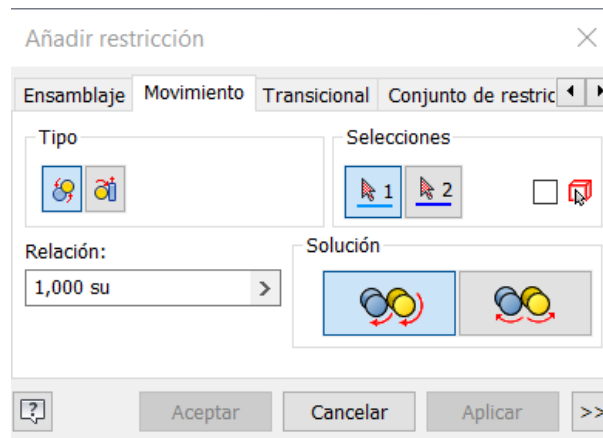


Ilustración 10. Herramienta 'Restringir' en la pestaña 'Ensamblaje'.

- *Movimiento*: especifica el movimiento entre los componentes del ensamblaje mediante el uso de restricciones de movimiento. Estas restricciones pueden ser de dos tipos: rotación o rotación-traslación. En 'Solución' se muestra las opciones de avance o retroceso, y en 'Relación' se puede especificar la relación entre los movimientos de los componentes, es decir, cuántas veces gira el segundo componente cuando el primer componente gira una vez (Ilustración 11).

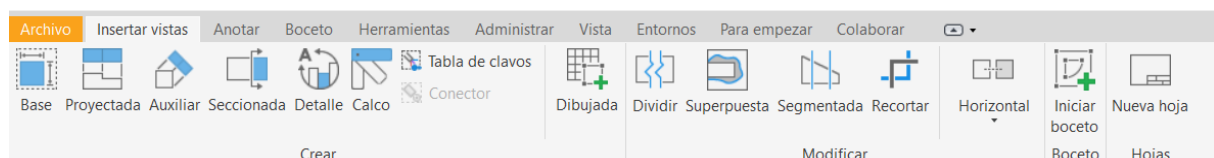


**Ilustración 11. Herramienta 'Restringir' en la pestaña 'Movimiento.'**

- *Transicional*: se puede seleccionar entre 'cara desplazada' y 'cara transicional'
- *Conjunto de restricciones*: permite restringir dos sistemas de coordenadas entre sí.

Una vez que se han establecido las restricciones entre las piezas del ensamblaje, se obtiene el diseño final. Luego, la tarea siguiente es documentar este ensamblaje de manera gráfica. Ello implica la creación de planos de conjunto, despiece y perspectivas estalladas que muestran la ubicación y relación de cada componente del ensamblaje de manera clara y precisa.

Para obtener estos planos de conjunto, se selecciona la opción 'Dibujo' (Ilustración 1). En la barra de herramientas de la pestaña 'Insertar vistas' (Ilustración 12) se pueden observar las diferentes acciones posibles.

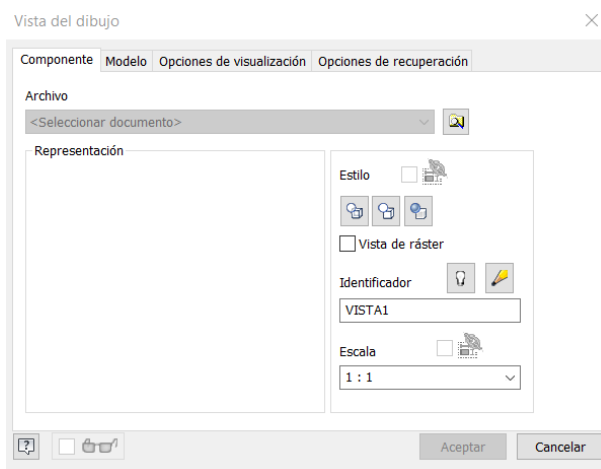


**Ilustración 12. Barra de herramientas de la pestaña 'Insertar vistas.'**

Destacar que en el panel 'Modelo', esquina superior izquierda, se encuentra el nombre del dibujo y plano que se va a trabajar (Ilustración 13).

**Ilustración 13. Panel 'Modelo'.**

Dentro de cada plano existe la opción de crear hojas nuevas con la opción 'Nueva hoja' (Ilustración 12), dentro de la cual se pueden realizar diferentes acciones como editar los cuadros de rotulación, importar archivos de AutoCAD, modificar el formato de la hoja, etc. Clicando en la herramienta 'Base' (Ilustración 12) es posible comenzar con el diseño del plano, acción tras la cual aparecerá una ventana de diálogo en la que se podrá seleccionar la pieza, vista, escala y estilo de la misma (Ilustración 14).

**Ilustración 14. Ventana de diálogo 'Vista del dibujo'.**

Para crear una vista en el software de diseño, se debe seleccionar la pieza o ensamblaje que se desea representar. A continuación, se debe acceder a la sección 'Estilo', donde se pueden elegir diferentes opciones de visualización, como mostrar líneas ocultas, omitirlas o agregar sombreado. También se puede elegir la escala en la que se desea crear el plano y modificar el nombre de la vista en la sección 'Identificador'.

La vista base, generalmente frontal, de la pieza o ensamblaje se ubicará en el plano pudiendo rotar y colocarse en la parte a seleccionar de la hoja. Como bien puede observarse en la Ilustración 15, se ofrecen varias opciones para crear diferentes tipos de vistas:

- La opción 'Proyectada' permite agregar vistas proyectadas a partir de la vista base, lo que incluye proyecciones ortogonales o vistas y proyecciones isométricas en 3D.

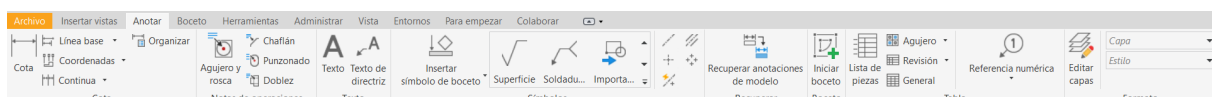
- La opción 'Auxiliar' permite agregar vistas auxiliares que son perpendiculares a una arista o línea seleccionada.

- La opción 'Seccionada' se utiliza para mostrar vistas seccionadas, lo que ayuda a mostrar detalles internos del diseño.

- La opción 'Detalle' permite crear una vista aumentada de una parte específica de la vista que se desea destacar.

- Por último, la opción 'Calco' se utiliza para mostrar una vista de calco que representa el conjunto en varias posiciones con una sola vista, lo que puede ser muy útil para presentar el diseño en diferentes etapas del proceso de fabricación.

Después de crear las vistas necesarias, se puede agregar más información al diseño utilizando la barra de herramientas de la pestaña 'Anotar'. Esta barra de herramientas proporciona varias opciones para agregar dimensiones, textos, símbolos y otros elementos importantes para la documentación técnica del diseño (Ilustración 12).



**Ilustración 15. Barra de herramientas de la pestaña 'Anotar'.**

A la hora de trabajar con un ensamblaje complejo es recomendable tener una lista de las piezas que se puede crear utilizando la opción 'Lista de piezas'. Para enumerar cada pieza en la lista, se utiliza la herramienta 'Referencia numérica'. También se puede utilizar la opción 'Cota' para agregar dimensiones a las vistas generadas. Además, se pueden agregar anotaciones de agujeros, roscas, superficies, etc.

Para modificar el título y otra información relacionada en el cuadro de rotulación del plano, se debe hacer clic en la pestaña 'Archivo', elegir la opción 'Propiedades' y seleccionar la pestaña 'Resumen' (Ilustración 16). Desde allí, se puede cambiar el título y otra información relacionada.



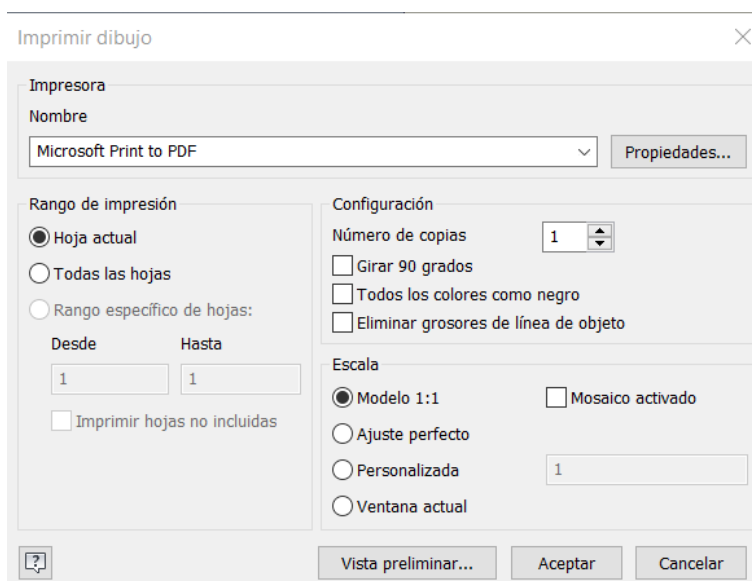
**Ilustración 16. Ventana de diálogo de modificación del cuadro de rotulación.**

En la pestaña 'Administrar', existe un botón 'Editor de Estilos' que se puede utilizar para personalizar el aspecto de los planos, como el color y el tipo de línea.

Es importante señalar que se pueden exportar los planos desde Inventor Profesional a AutoCAD utilizando el comando 'Archivo', 'Exportar', 'Exportar a dwg'.

Posteriormente, en la ventana de diálogo que aparece, se debe seleccionar 'Archivo de AutoCAD' en la sección 'Tipo'.

Finalmente, si se quisiera imprimir los planos en formato PDF, basta con clicar en la opción 'Imprimir' dentro de las opciones de la pestaña 'Archivo' (Ilustración 17).



**Ilustración 17. Impresión de planos en formato PDF.**

Si se necesita una vista explotada del conjunto, se puede crear una presentación o animación. Para hacerlo, se debe volver a la ventana de inicio (Ilustración 3), seleccionar la opción 'Presentación' y elegir el archivo del conjunto que se desea documentar, apareciendo una ventana de presentación.

Una vez que se ha cargado el conjunto, se verá un panel de secuencia de vídeo a la izquierda de la ventana gráfica. En la ventana del modelo, se mostrarán las escenas que se hayan creado con las partes del conjunto. También aparecerá una barra de herramientas en la pestaña 'Presentación' (Ilustración 18).

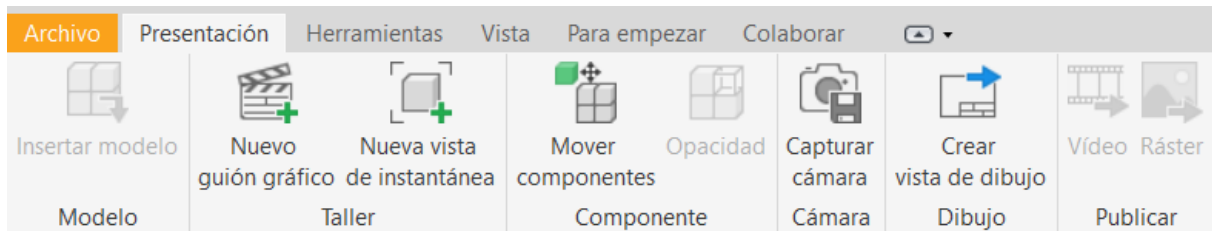


Ilustración 18. Barra de herramientas de la pestaña 'Presentación'.

Para crear una presentación, se debe comenzar con un despiece del conjunto siguiendo la secuencia de su construcción. Para hacer esto, se debe utilizar la herramienta 'Mover componentes' (Ilustración 18), que mostrará en la parte superior derecha de la pantalla una ventana gráfica con un menú de marcado (Ilustración 19).

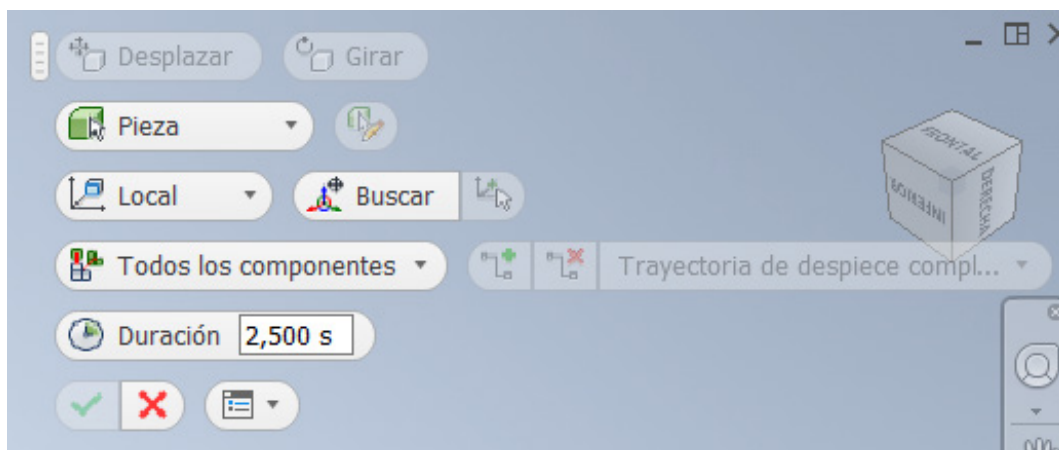


Ilustración 19. Menú de marcado.

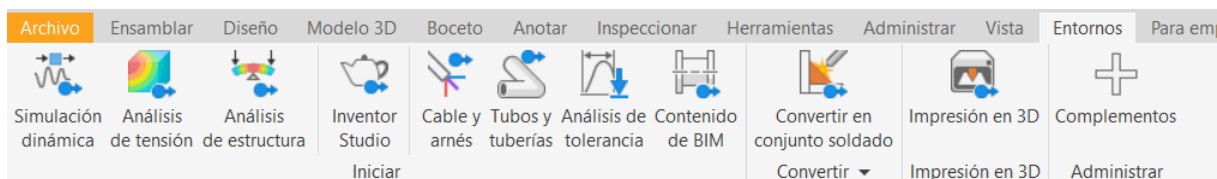
Para mover una pieza del ensamblaje, se debe seleccionar la misma y elegir si se desea 'Desplazar' o 'Girar' en el menú de marcado. Posteriormente, se debe seleccionar el eje en el que se desea que se mueva la pieza y la distancia a la que se quiere desplazarla. En el menú de marcado, también se puede elegir el tiempo de desplazamiento.

En el panel de secuencia de video (Ilustración 20), situado a lo largo de la parte inferior de la pantalla, se mostrará la descripción de cada parte movida con el tiempo seleccionado. De esta manera, se puede crear una presentación para obtener perspectivas estalladas, eligiendo la toma más adecuada.



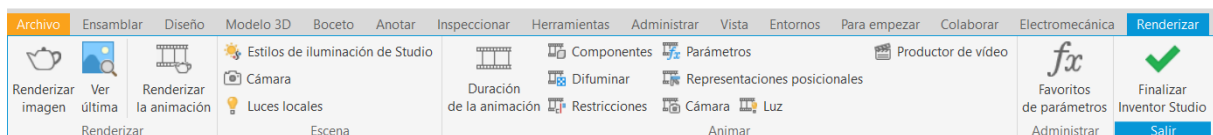
**Ilustración 20. Panel de secuencia de Presentación.**

Para obtener una representación virtual que muestre el funcionamiento del ensamblaje, se puede utilizar el módulo 'Inventor Studio'. Esta opción se halla fácilmente en la barra de herramientas de la pestaña 'Entornos' (Ilustración 21).



**Ilustración 21. Barra de herramientas de la pestaña 'Entornos'.**

Dentro de Inventor Studio se puede apreciar la barra de herramientas correspondiente (Ilustración 22).



**Ilustración 22. Barra de herramientas del módulo 'Inventor Studio'.**

Para crear una animación en Inventor Studio, primero se debe seleccionar la herramienta 'Duración de la animación' para abrir la línea de tiempo de la animación (Ilustración 23) que aparecerá en la parte baja de la pantalla.



**Ilustración 23. Línea de tiempo de la animación.**

Luego, se seleccionará el botón 'Restricciones' (Ilustración 22) para animar una restricción seleccionada a lo largo de un intervalo de tiempo determinado. Se debe elegir la pieza del ensamblaje que se restringirá, así como el principio y fin de la

restricción, la duración y, si fuese oportuno, la velocidad o aceleración. Asimismo, se pueden crear tantas restricciones como sea necesario (Ilustración 24).

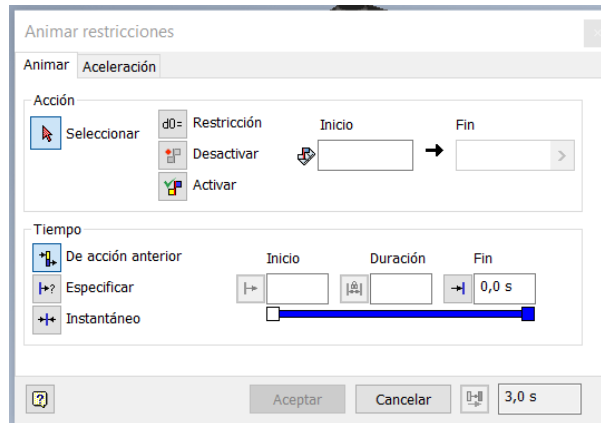


Ilustración 24. Ventana de diálogo 'Animar restricciones'.

Con la herramienta 'Renderizar imagen' (Ilustración 22), se obtendrá una imagen renderizada de la misma, y con la herramienta 'Cámara' se pueden colocar diferentes cámaras con diferentes ángulos de trabajo en los que se podrán obtener vistas de movimientos concretos del ensamblaje.

Clicando en la herramienta 'Renderizar la animación', se obtendrá dicha recreación virtual y aparecerá una pestaña en la que se podrá trabajar con los parámetros del video obtenido a través de las siguientes ventanas:

- **General:** se puede determinar la 'anchura y altura' de la animación, seleccionar la 'Cámara' de la que se obtiene la recreación y el 'Estilo de iluminación' (Ilustración 25).

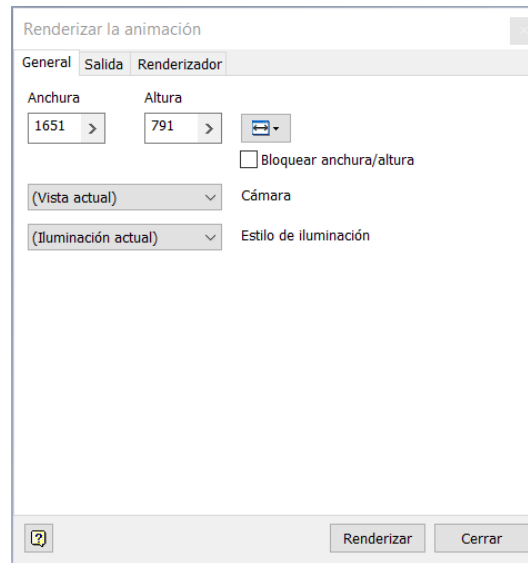


Ilustración 25. Herramienta 'Renderizar la animación'. Pestaña 'General'.

- *Salida:* en esta pestaña se puede seleccionar dónde guardar el archivo de la animación. El apartado 'Rango de tiempo' se utiliza para guardar el video entero generado o sólo un rango del mismo. Se puede seleccionar un formato de imágenes o vídeo en el apartado 'Formato', y la cantidad de fotogramas por segundo eligiendo los deseados en 'Velocidad de imagen' (Ilustración 26).

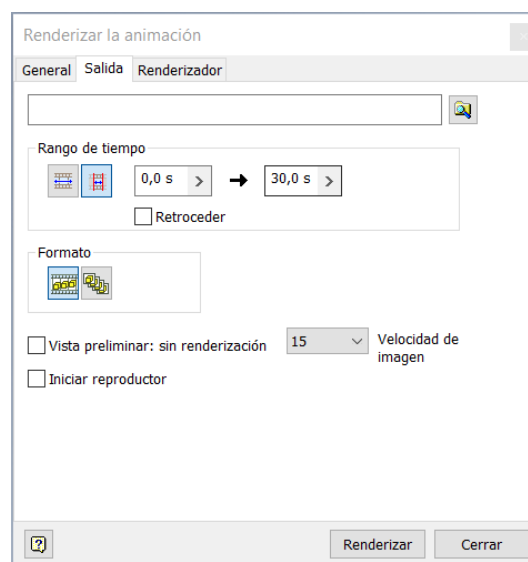


Ilustración 26. Herramienta 'Renderizar la animación'. Pestaña 'Salida'.

- **Renderizador:** permite variar el 'Tiempo total de renderización', el número de iteraciones de renderización por pieza, y el 'Modo' y 'Filtrado de imagen' que es útil para dar nitidez a la animación final (Ilustración 27).

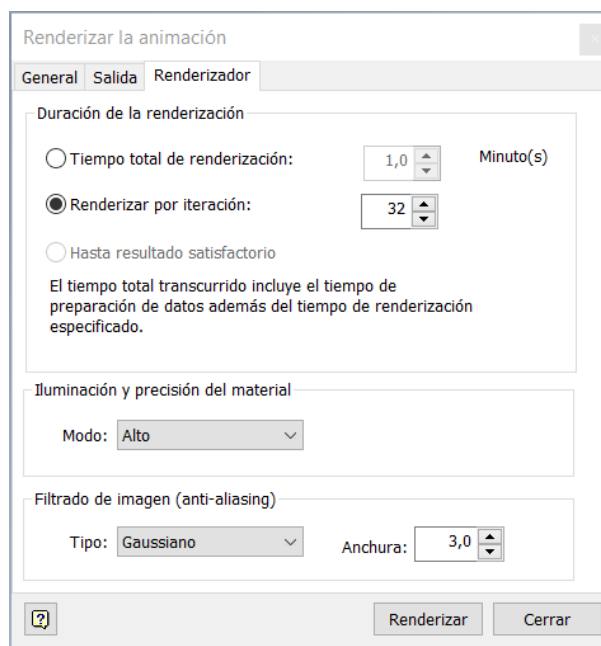


Ilustración 27. Herramienta 'Renderizar la animación'. Pestaña 'Renderizador'.

Por otro lado, el objetivo central de este TFG es llevar a cabo un análisis estático mediante elementos finitos (FEA) del ensamblaje final. Para ello, es necesario clicar en la herramienta 'Análisis de Tensión' situada en la pestaña 'Entornos' (Ilustración 21). Gracias a esta interfaz se puede estudiar completamente el comportamiento estructural y obtener un análisis de esfuerzo (Ilustración 28).

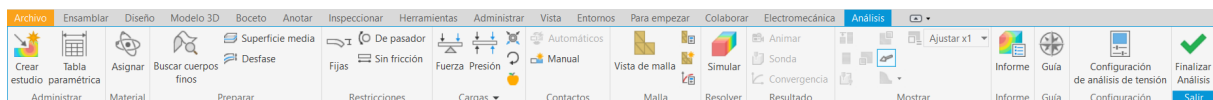


Ilustración 28. Barra de herramientas de la herramienta 'Análisis de tensión'.

En la parte izquierda de la pantalla se puede observar el panel 'Modelo', presentando varios desplegados que sirven para modificar parámetros del estudio que se quiera llevar a cabo. En primer lugar, haciendo doble clic en el panel Material se pueden definir y seleccionar los distintos materiales de los que está compuesto

nuestro ensamblaje, buscándolos en la biblioteca de materiales que nos ofrece Inventor.

En el panel de Restricciones se configuran las diferentes restricciones de movimiento del ensamblaje. Éstas pueden ser 'Fijas', 'De pasador' o 'Sin fricción'. Se seleccionan unas u otras dependiendo de en qué eje se desplazan las piezas o si no se desplazan simplemente.

Con respecto al panel de Cargas es posible diferenciar entre 'Fuerza', 'Presión', 'Gravedad', 'Momento' o 'Carga de Rodamientos'. Dependiendo si el ensamblaje presenta fuerzas puntuales, de presión, gravitacionales o momentos, se jugará con las diferentes opciones.

Al igual que sus precedentes, en el panel Contactos se configuran los contactos entre las piezas del ensamblaje. Estos se pueden introducir de forma automática mediante la opción 'Automáticos' o, si fuese preciso, de forma manual clicando en la opción 'Manual'.

En el panel Malla es necesario seleccionar la opción 'Vista de Malla' para que el programa realice un mallado, pieza por pieza, ajustándose a la estructura de la misma. Haciendo doble clic en la misma, se puede configurar el tamaño y ángulo de los elementos de malla.

Finalmente, clicando en la herramienta 'Simular', se obtienen los resultados de la simulación, los cuales aparecen en el panel Modelo (Ilustración 29).

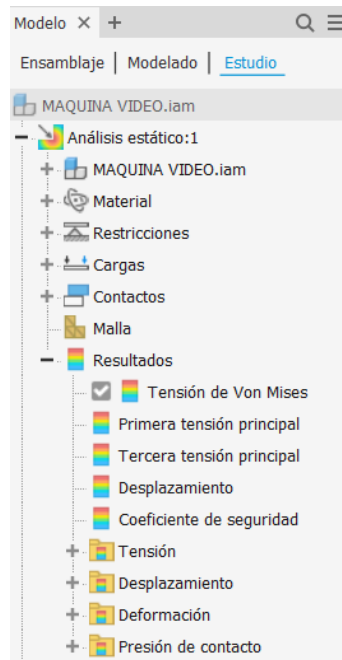


Ilustración 29. Panel 'Modelo'.

En este panel se obtienen los resultados de la tensión de von Mises, primera y tercera tensión principal, desplazamientos, coeficientes de seguridad y deformaciones equivalentes, pudiéndose observar de forma visual pues aparecen con una barra de colores dependiendo de los valores alcanzados (Ilustración 30).

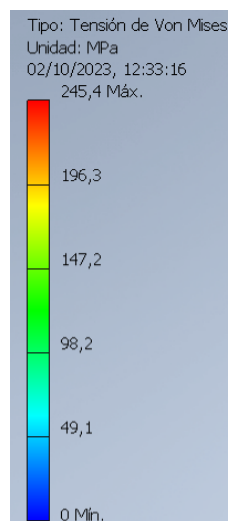


Ilustración 30. Barra de colores para la tensión de von Mises.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. INGENIERÍA GRÁFICA: MODELADO TRIDIMENSIONAL Y DOCUMENTACIÓN GRÁFICA**

Los planos disponibles [4] se utilizarán para crear un modelo CAD 3D. A partir de dicho modelo CAD 3D, se generará documentación gráfica detallada que incluye planos específicos de cada componente y una representación completa del montaje, con la correspondiente perspectiva isométrica, estallada y planos de conjunto de la invención que se está analizando. Además, se realizará un análisis mediante elementos finitos y se creará una recreación virtual para mostrar su funcionamiento.

Posteriormente, se proporcionará una descripción detallada de cada componente y su función, utilizando el plano de conjunto (Anexo: Planos). Cada componente tendrá una marca (etiqueta numérica) en el plano correspondiente. Si fuese necesaria alguna información adicional, también se puede consultar otros planos que se encuentren en el Anexo.

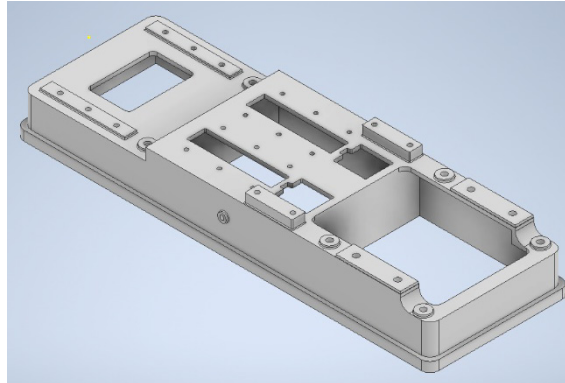
La invención se trata de una máquina de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas Joy. El propio Henry Muncaster explica que se hizo con la idea de producir un pequeño motor que no fuera simplemente una maqueta, sino que también fuera capaz de realizar un trabajo útil si fuera necesario, para manejar un pequeño torno o para cualquier otra tarea relacionada.

Asimismo, existe numerosa información relacionada acerca de la contribución principal de esta invención, como es la válvula de engranaje Joy, de tipo genérico sobre su funcionamiento [5-7], e incluso sobre la patente original presentada en USA en 1882 [8].

##### *3.1.1. Descripción del modelado tridimensional*

###### *3.1.1.1. Bancada*

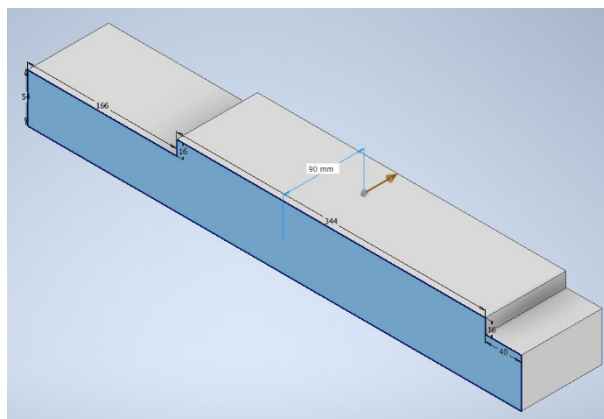
Esta pieza es la principal y, por tanto, la más laboriosa de modelizar. En ella descansan todas las piezas del motor y es la encargada de soportar las diferentes vibraciones y esfuerzos que tienen lugar durante su funcionamiento (Ilustración 31).



**Ilustración 31. Perspectiva axonométrica de la bancada.**

Para facilitar el modelado, se ha optado por realizar únicamente la mitad que resulta al dividir la pieza transversalmente en dos partes iguales. Más adelante se explicará que, una vez finalizada, con la herramienta 'Simetría' se obtendrá la pieza final de forma sencilla.

En primer lugar, se ha realizado un boceto del perfil lateral de la pieza y se ha extruido una distancia igual a la mitad del ancho de la pieza, es decir, 90 mm (Ilustración 32).



**Ilustración 32. Detalle de la extrusión.**

A continuación, para cada uno de los tres niveles independientes que posee esta pieza, se han ido realizando las diferentes operaciones de vaciado y extrusión siguiendo meticulosamente las cotas de los planos (Ilustración 33).

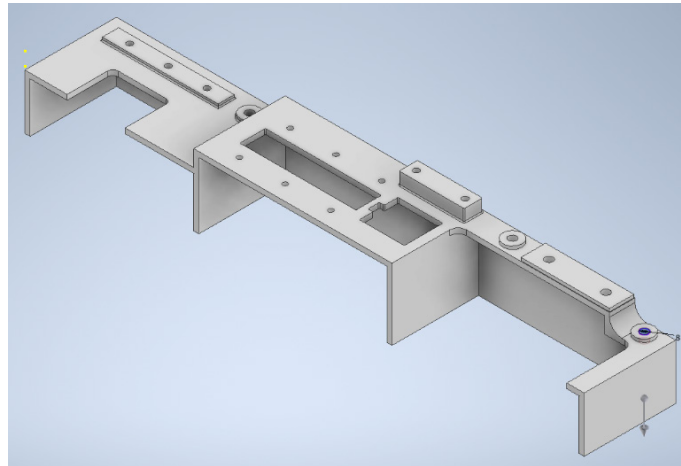


Ilustración 33. Detalle de huecos para cada nivel.

Una vez terminada la mitad de la bancada, se puede proceder a utilizar la herramienta 'Simetría', mencionada anteriormente. Únicamente basta con seleccionar como 'Operaciones' la parte que deseamos duplicar, en este caso todo lo realizado hasta ahora, y como 'Plano de simetría' el corte existente en la pieza (Ilustración 34).

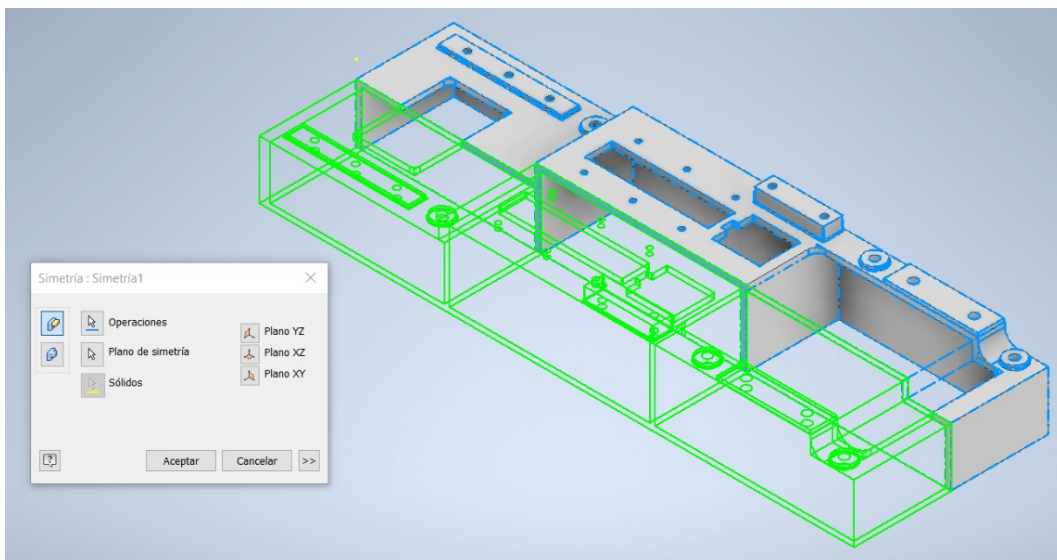


Ilustración 34. Detalle de la simetría.

Ya terminada esta operación, faltaría únicamente terminar algunos detalles como los empalmes de las diferentes aristas que lo requieran, los bordes inferiores de la bancada o los diferentes agujeros que precise alguna cara exterior (Ilustración 31).

### 3.1.1.2. Alojamiento del cojinete del cigüeñal (superior)

Este alojamiento del cojinete es un conjunto de dos piezas, del que se explica en primer lugar, la pieza superior.

En primer lugar, se realiza el cuerpo de la pieza con un boceto de la silueta frontal de la misma y extruyendo dicho boceto la distancia requerida. Para modelar los agujeros y formas superiores se ha utilizado un plano auxiliar paralelo al plano XY de la misma pieza (Ilustración 35), que se puede ubicar fácilmente utilizando la herramienta 'Desfase de plano' de la sección 'Operaciones de trabajo' en la barra de herramientas 'Modelo 3D'.

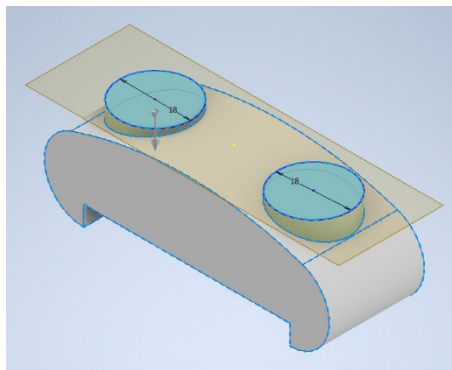


Ilustración 35. Detalle plano auxiliar.

Tras extruir sendos cilindros, se utiliza el mismo proceso para realizar el cuadrilátero ubicado a una distancia superior, y finalmente, se realizan las perforaciones pertinentes, obteniéndose el modelo final de la pieza (Ilustración 36).

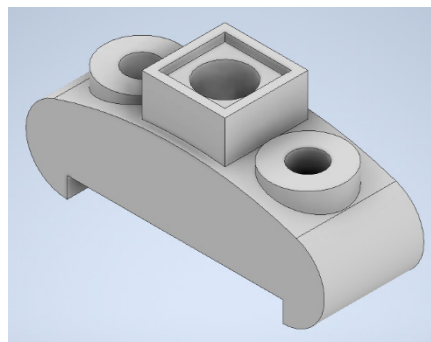


Ilustración 36. Perspectiva axonométrica del alojamiento del cojinete del cigüeñal (superior).

### 3.1.1.3. Alojamiento del cojinete del cigüeñal (inferior)

El modelado de esta pieza es bastante simple ya que únicamente requiere extruir el boceto del perfil de la pieza y, posteriormente, realizar cuatro perforaciones roscadas de 15 mm de largo, dos en la base y dos en la parte superior (Ilustración 37).

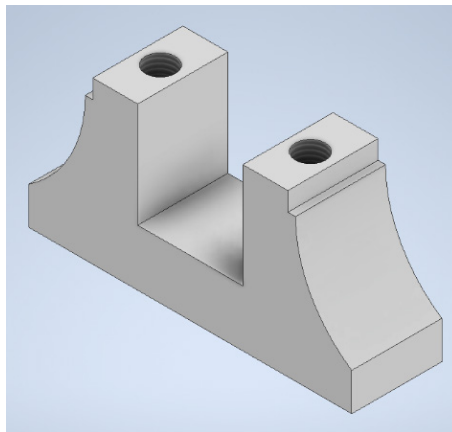


Ilustración 37. Perspectiva axonométrica del alojamiento del cojinete del cigüeñal (inferior).

### 3.1.1.4. Cojinete del cigüeñal

Se ha iniciado el modelado de esta pieza realizando un cubo central, añadiendo posteriormente las dos pletinas laterales y terminando con el hueco que será el apoyo del cigüeñal y el pequeño orificio superior (Ilustración 38).

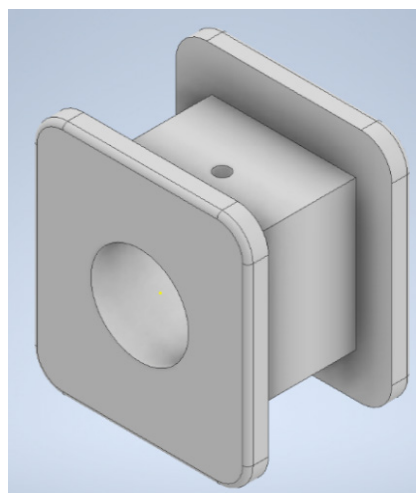


Ilustración 38. Perspectiva axonométrica del cojinete del cigüeñal.

### 3.1.1.5. Tapa del orificio de aceite del cojinete

La tapa del alojamiento del cojinete está formada por un cuadrado de 16 mm de lado y 1 mm de espesor. Una vez construido, se procede a realizar la esfera superior que lo compone mediante la función 'Revolución' (Ilustración 39).

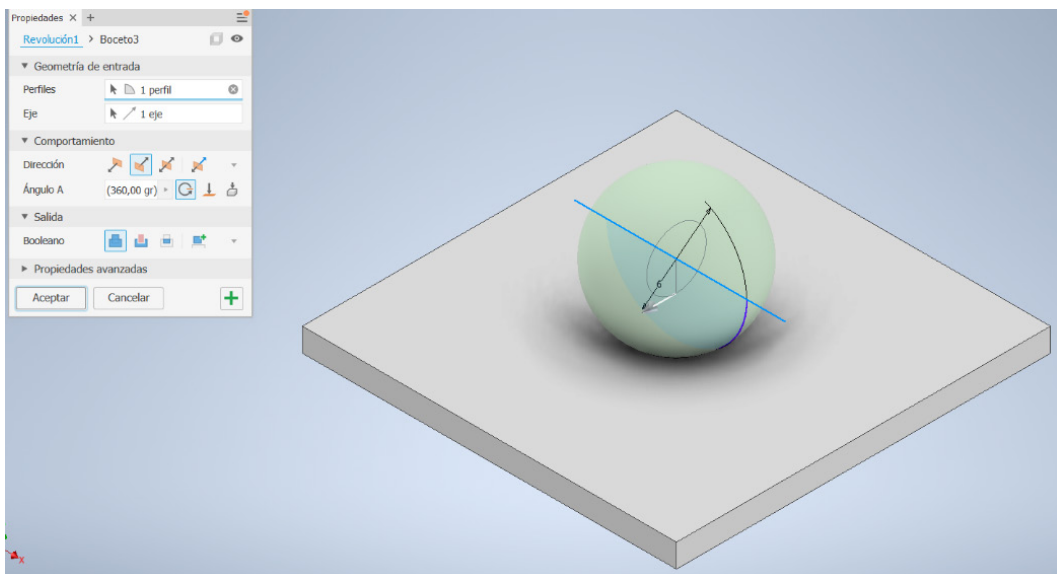


Ilustración 39. Detalle de la función 'Revolución'.

Para finalizar la pieza, restaría hacer la extrusión cilíndrica inferior con su respectivo roscado, así como el redondeo puramente estético de las cuatro aristas del cuadrado (Ilustración 40).

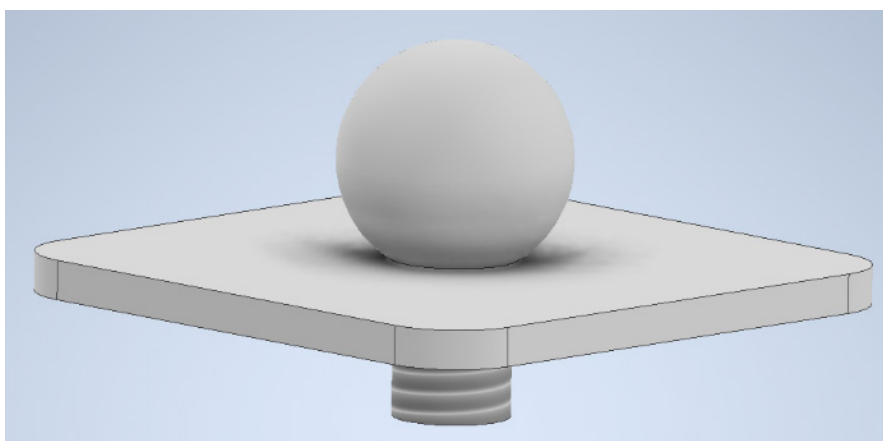


Ilustración 40. Perspectiva de la tapa del orificio de aceite del cojinete.

### 3.1.1.6. Soporte del eje del elemento de expansión

Se comienza dibujando un boceto del perfil del soporte para extruirlo posteriormente 18 mm. Teniendo el cuerpo principal de la pieza, se realiza el boceto de la oquedad central que posee por ambas caras (Ilustración 41), así se obteniéndose así la pieza casi en su totalidad a falta de algunas operaciones básicas.

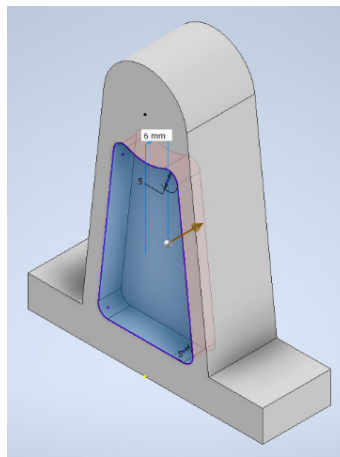


Ilustración 41. Detalle de oquedad central del soporte.

Para finalizar, se realizan los dos agujeros en los extremos de la base de la pieza que servirán de sujeción, el orificio central por el que pasará el eje del elemento de expansión y, por último, un pequeño orificio superior. Terminados estos tres pasos se obtiene la pieza final (Ilustración 42).

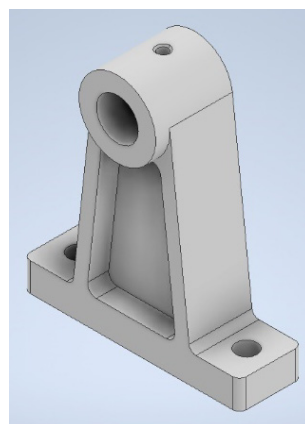


Ilustración 42. Perspectiva axonométrica del soporte del eje del elemento de expansión.

Dentro del orificio principal de este soporte va insertado un rodamiento que servirá de apoyo para el eje. El rodamiento tiene el mismo diámetro que el orificio, 12 mm, con un espesor de 1,25 mm. Al igual que el soporte, posee un orificio superior de 3 mm de diámetro que sirve para lubricar el eje (Ilustración 43).

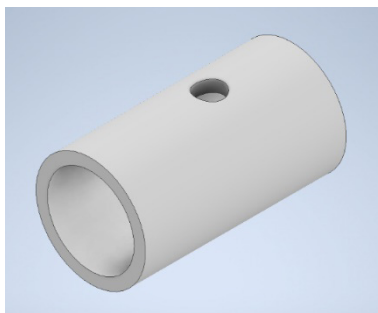


Ilustración 43. Perspectiva axonométrica del rodamiento del soporte del eje.

#### 3.1.1.7. Guía corredera de la cruceta

Esta pieza es muy sencilla de modelizar, ya que basta con realizar un boceto del perfil escalonado de la guía corredera y extruir una distancia de 114 mm. Seguidamente, se llevan a cabo las seis perforaciones roscadas que la componen, finalizando con un redondeo de las aristas inferiores de la pieza final (Ilustración 44).

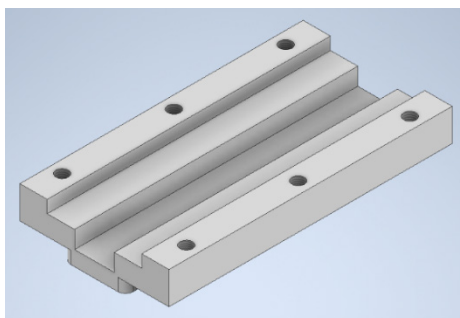


Ilustración 44. Perspectiva axonométrica de la guía corredera de la cruceta.

#### 3.1.1.8. Bloque de cilindros

Se da comienzo a esta pieza generando un cubo de 158 mm de largo, 114 mm de ancho y 84 mm de alto, sobre el que se ejecutarán las operaciones pertinentes. En primer lugar, se lleva a cabo la configuración superior del bloque (Ilustración 45).

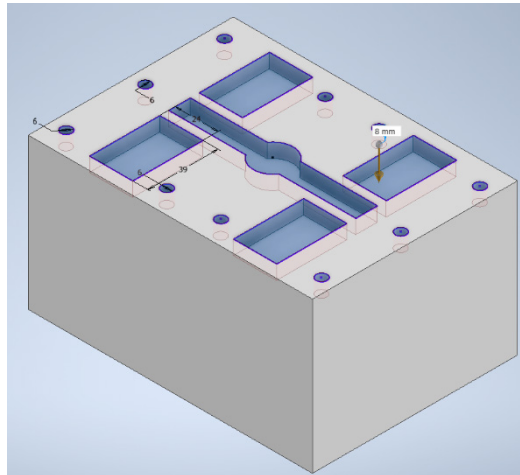


Ilustración 45. Detalle de la cara superior del bloque de cilindros.

A continuación, se realiza el vaciado de la base y paredes laterales del bloque, con sus respectivos huecos roscados. Una vez realizado este paso, se conforman las cámaras donde descansarán los cilindros, haciéndose también las perforaciones alrededor de dichas cámaras mediante la herramienta 'Patrón circular' (Ilustración 46).

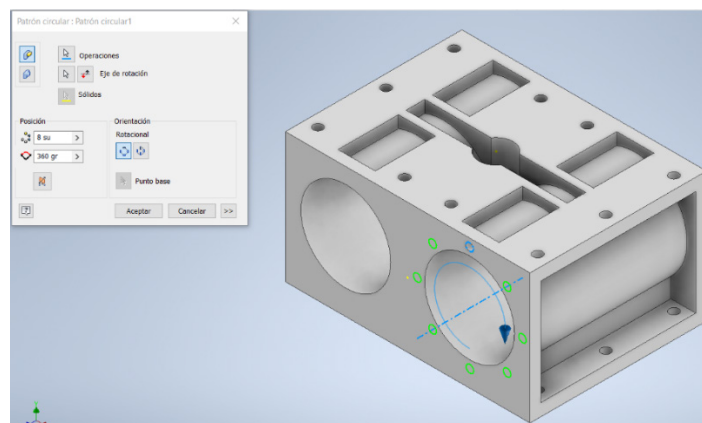
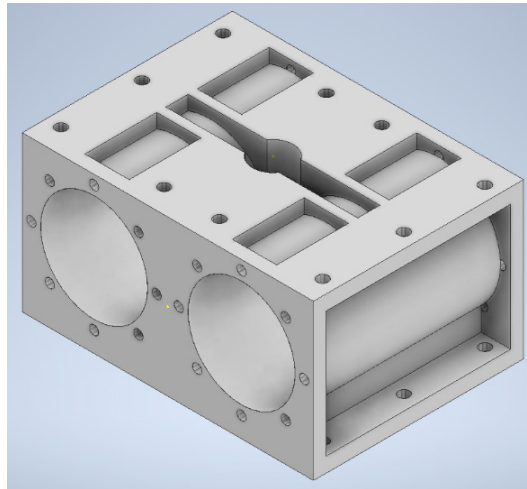


Ilustración 46. Detalle de la operación 'Patrón circular'.

Para finalizar la pieza, es necesario utilizar la operación previamente descrita con el fin de realizar los diferentes orificios en la base del bloque que servirán como sujeción a la tubería de vapor, pieza que se explicará más adelante.

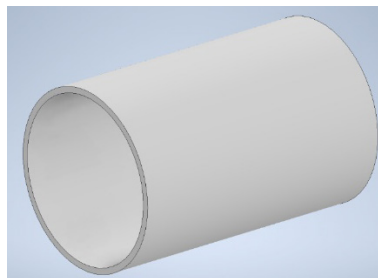
Terminado este procedimiento, se obtiene como resultado el bloque motor, elemento crucial de la máquina de vapor (Ilustración 47).



**Ilustración 47. Perspectiva axonométrica del bloque de cilindros.**

#### **3.1.1.9. Camisa interior del bloque de cilindros**

Esta es una de las piezas más sencillas de la máquina, pues se trata de un cilindro hueco de 90 mm de largo y diámetro interior y exterior de 54 y 58 mm respectivamente (Ilustración 48).



**Ilustración 48. Perspectiva axonométrica de la cámara interior del bloque de cilindros.**

#### **3.1.1.10. Cubierta delantera del cilindro**

Esta tapadera delantera del cilindro (Ilustración 49) posee una forma circular de 77 mm de diámetro, de la que sobresale por 7 mm otra formación circular de 58 mm de diámetro, y de la que, a su vez, sobresale una pequeña pletina, también circular, de 2 mm de espesor. Esta pletina tiene una oquedad en forma rectangular para la cual ha sido necesario un plano auxiliar en su realización.

Para los orificios que se hallan a lo largo de la circunferencia de esta cubierta, se ha utilizado la opción 'Patrón circular' anteriormente descrita.

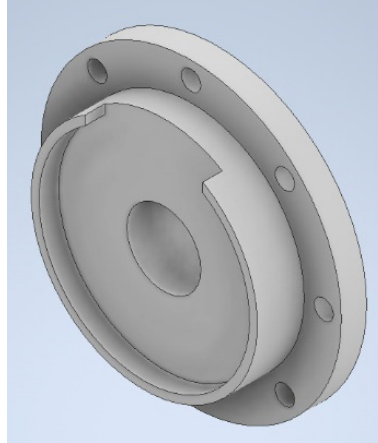


Ilustración 49. Perspectiva axonométrica de la cubierta delantera del cilindro.

#### 3.1.1.11. Cubierta trasera del cilindro

Esta pieza se caracteriza por ser exactamente igual a la cubierta delantera del cilindro, previamente explicada, pero con la diferencia de que ésta contiene un pasamuros en su parte posterior (Ilustración 50). La realización del mismo no requiere más que un boceto y una extrusión, seguido de los redondeos y perforaciones pertinentes.

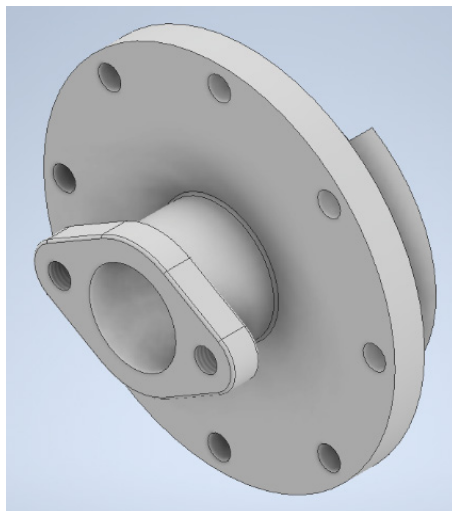


Ilustración 50. Perspectiva axonométrica de la cubierta trasera del cilindro.

### 3.1.1.12. Tope de la cubierta trasera del cilindro

Llevando a cabo dos simples extrusiones y un hueco cilíndrico interior, se llega con facilidad al resultado final deseado (Ilustración 51).

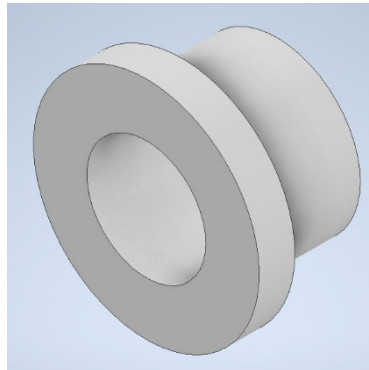


Ilustración 51. Perspectiva axonométrica del tope de la cubierta trasera del cilindro.

### 3.1.1.13. Casquillo de la cubierta trasera del cilindro

Consta de un diámetro exterior de 19 mm, diámetro interior de 10 mm y una longitud de 13 mm (Ilustración 52).

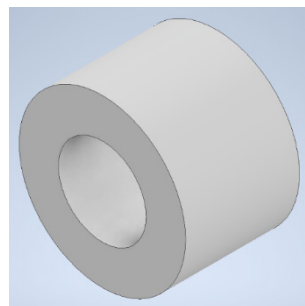


Ilustración 52. Perspectiva axonométrica del casquillo de la cubierta trasera del cilindro.

### 3.1.1.14. Pasamuros del pistón

Esta pieza es prácticamente similar a la perteneciente a la cubierta trasera del cilindro. Consta de un cuerpo principal de forma elipsoidal del que sobresale una figura cilíndrica hueca (Ilustración 53).

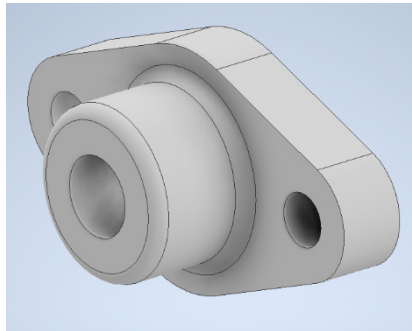


Ilustración 53. Perspectiva axonométrica del pasamuros del cilindro.

### 3.1.1.15. Junta cofre-bloque

Esta placa (Ilustración 54 (Izquierda)) se sitúa justo sobre el bloque de cilindros, y por tanto, presenta las mismas dimensiones que éste, pero con un espesor de 4 mm. Las perforaciones, tanto circulares como rectangulares, se han realizado únicamente en un cuarto de la placa, y utilizando la función 'Simetría' (Ilustración 54 (Derecha)), se ha trasladado a los tres cuartos restantes.

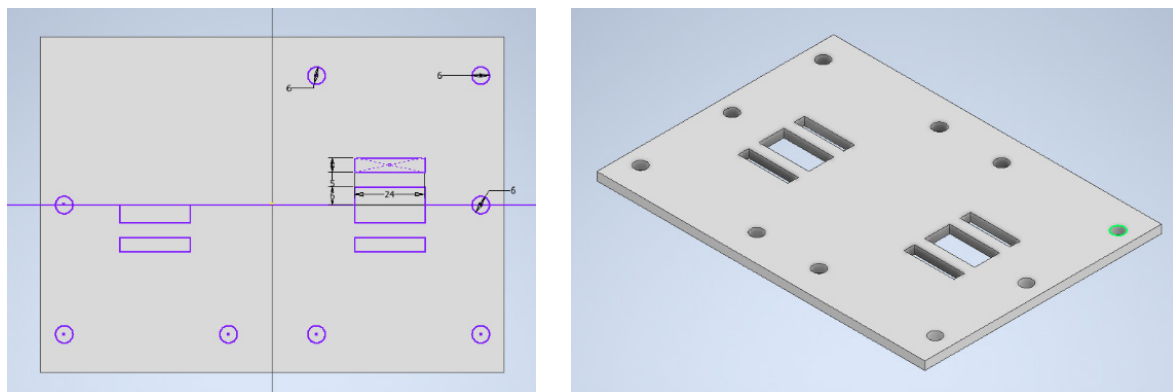
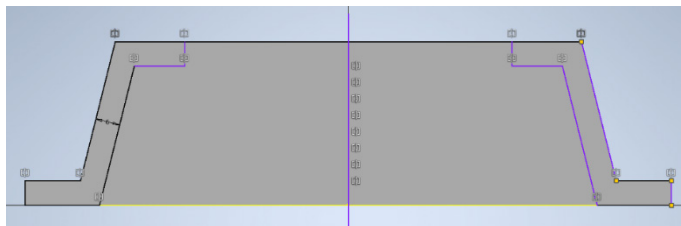


Ilustración 54. Detalle de simetría y perspectiva axonométrica de la junta.

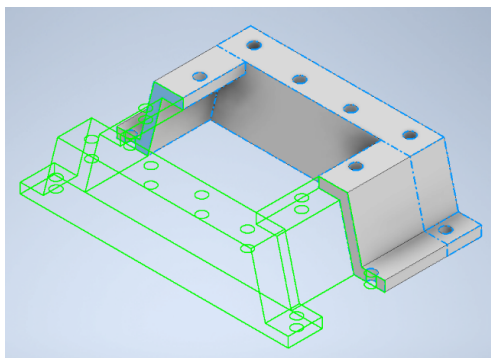
### 3.1.1.16. Cofre de válvulas

Se ha seguido el procedimiento explicado en apartados anteriores, que consiste en la conformación de una parte de la pieza para luego utilizar la función 'Simetría'. La ejecución de esta mitad comienza con la pared trasera del cofre de válvulas, y seguidamente se dibuja mediante la herramienta 'Desfase' la forma que tendrán las paredes laterales (Ilustración 55).



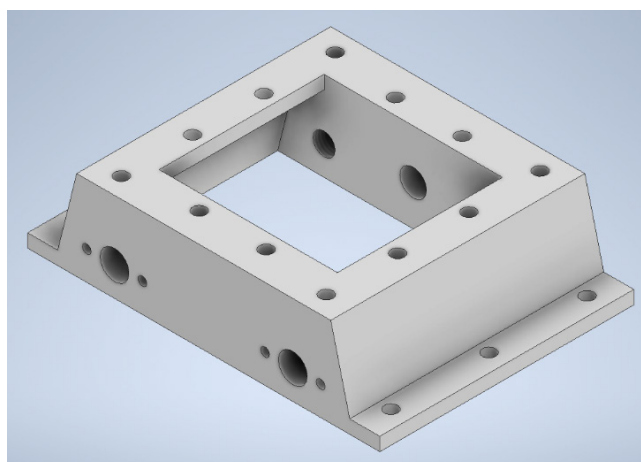
**Ilustración 55.** Detalle del boceto de las paredes laterales del cofre de válvulas.

Una vez extruidos estos bocetos una distancia igual a la mitad del largo de la pieza y perforados los diferentes huecos roscados que posee la pieza, se procede a utilizar la citada herramienta 'Simetría' (Ilustración 56).



**Ilustración 56.** Detalle de simetría.

Para finalizar el cofre de válvulas, es necesario practicar los orificios que servirán de entrada de vapor, entre otros (Ilustración 57).



**Ilustración 57.** Perspectiva axonométrica del cofre de válvulas.

### 3.1.1.17. Tope del cofre de válvulas

Esta pieza es prácticamente similar a la pieza 3.1.1.12 pero con diferentes dimensiones: diámetro exterior de 10 mm, diámetro interior 6mm y un ala de 13 mm de diámetro (Ilustración 58).

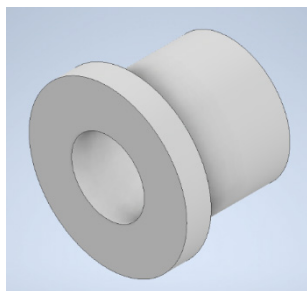


Ilustración 58. Perspectiva axonométrica del tope del cofre de válvulas.

### 3.1.1.18. Casquillo del cofre de válvulas

Esta arandela tiene unas dimensiones de 6 mm de diámetro interior, 13 de diámetro exterior y 5 mm de espesor (Ilustración 59).

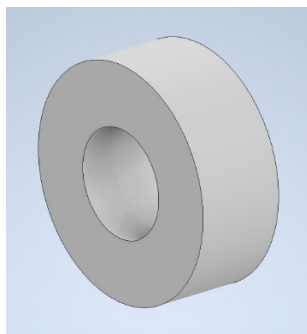


Ilustración 59. Perspectiva axonométrica del casquillo del cofre de válvulas.

### 3.1.1.19. Pasamuros del cofre de válvulas

Se comienza el modelado de esta pieza con la conformación del perfil elipsoidal que posee en su parte anterior, siguiendo con la realización de los orificios laterales que servirán de sujeción y finalizando, con el hueco central que conforma esta pieza (Ilustración 60).

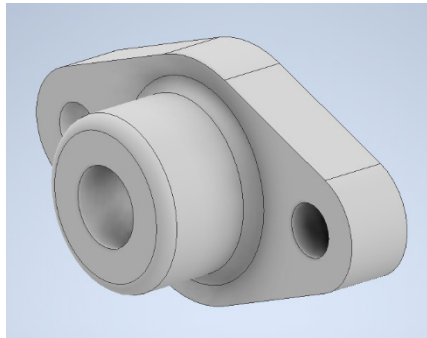


Ilustración 60. Perspectiva axonométrica del pasamuros del cofre de válvulas.

### 3.1.1.20. Tapa del extremo de la válvula corredera

En esta pieza se ha optado por realizar un boceto del perfil de la pieza y posteriormente una revolución para obtener la pieza casi completa (Ilustración 61 (Izquierda)). Una vez se tiene el cuerpo de la tapa de la varilla, se realiza el roscado exterior en su extremo (Ilustración 61 (Derecha)).

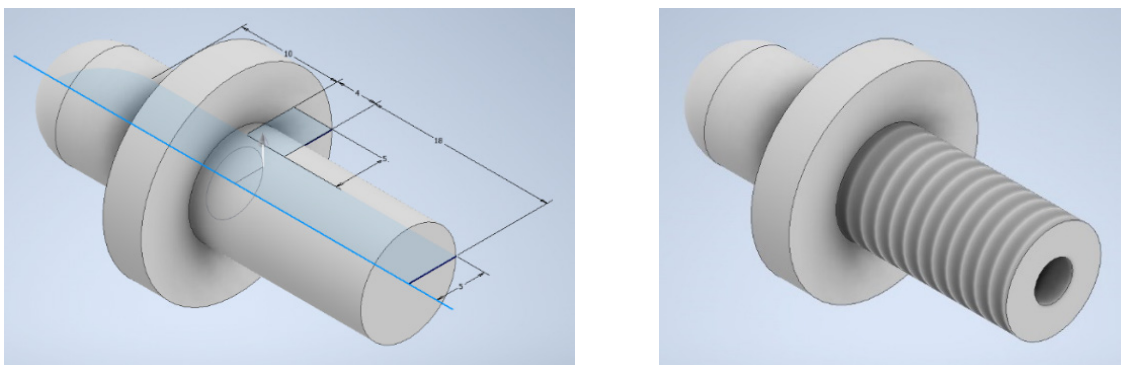


Ilustración 61. Detalle de revolución y axonometría de la tapa del extremo de la varilla de la válvula.

### 3.1.1.21. Cubierta del cofre de válvulas

La elaboración de esta cubierta es sencilla ya que, si se realiza un boceto cuadrado de 114 mm de lado y se le asigna un espesor de 9 mm, se tiene como resultado la pieza casi terminada, a falta de realizar las perforaciones concéntricas con las del cofre de válvulas que servirán para la unión de ambas y las cavidades cuadrada y circular que posee la pieza en su centro (Ilustración 62).

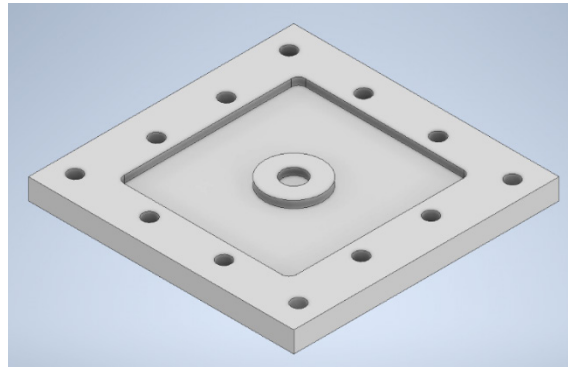


Ilustración 62. Perspectiva axonométrica de la cubierta del cofre de válvulas.

### 3.1.1.22. Soporte y tubo de entrada de vapor

En esta pieza se ha utilizado también la herramienta 'Revolución' (Ilustración 63 (Izquierda)), realizando previamente el boceto del perfil del tubo. Una vez realizado este paso, se modelan los cuatro huecos circulares que dispone la pieza para su sujeción en el cofre de válvulas. Estos huecos se realizan mediante la función 'Patrón circular' (Ilustración 63 (Derecha)).

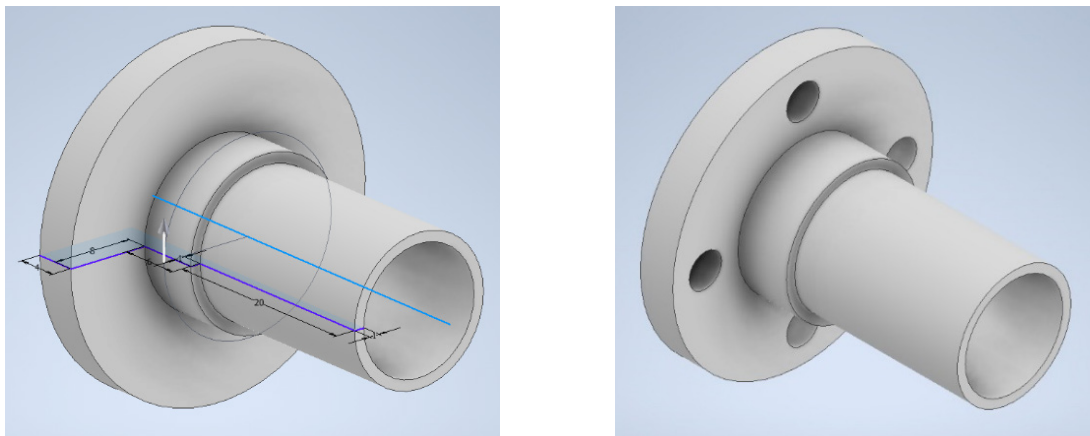
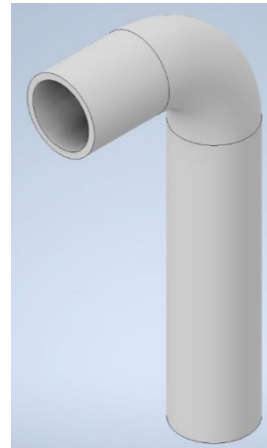
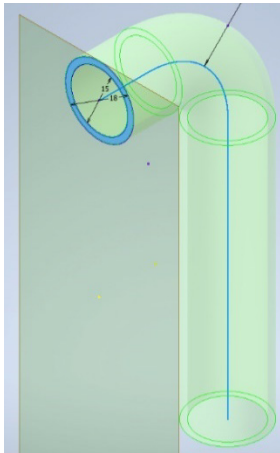


Ilustración 63. Detalle de revolución y perspectiva axonométrica del soporte y tubo de entrada de vapor.

### 3.1.1.23. Tubo de salida de vapor

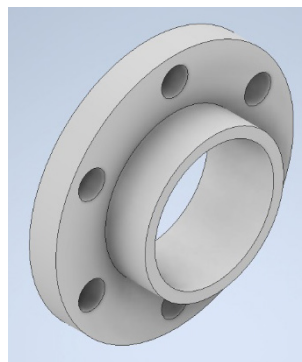
En la realización del tubo de salida de vapor se ha necesitado utilizar la herramienta 'Barrido' sobre un boceto con la forma del tubo (Ilustración 64 (Izquierda)). También se ha utilizado un plano de trabajo paralelo al XZ. Seguidos todos estos pasos, se obtiene como resultado la pieza final (Ilustración 64 (Derecha)).



**Ilustración 64. Detalle de barrido y perspectiva axonométrica del tubo de salida de vapor.**

#### *3.1.1.24. Soporte del tubo de salida de vapor*

Se realiza la pieza mediante sencillos pasos de extrusión y bocetos. Para los orificios circulares se ha vuelto a utilizar la función 'Patrón circular'. Esta pieza tiene un diámetro exterior de 36 mm e interior de 18 mm (Ilustración 65).



**Ilustración 65. Perspectiva axonométrica del soporte del tubo de salida de vapor.**

#### *3.1.1.25. Tope de la guía corredera*

Este tope va anclado justo encima de la guía corredera y su función consiste en hacer que la cruceta de la válvula Joy se deslice horizontalmente y no se desplace verticalmente. Con respecto al modelado, se ha extruido una pletina con su respectiva inclinación con una distancia igual al largo de la guía, 114 mm, y se han realizado los tres agujeros equidistantes (Ilustración 66).

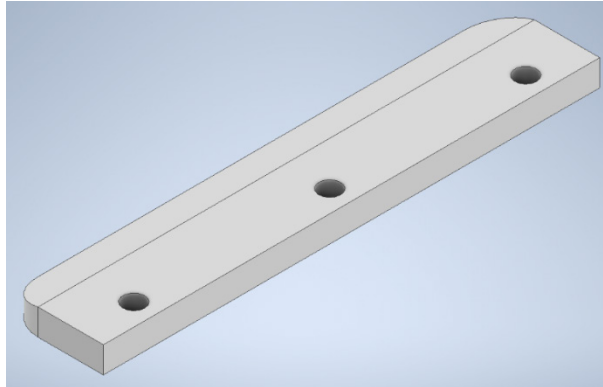


Ilustración 66. Perspectiva axonométrica del tope de la guía corredera.

### 3.1.1.26. Eje oscilante inferior del husillo

Se lleva a cabo una extrusión de un cilindro de 32 mm de alto por 6 mm de diámetro. Una vez se realiza el tope circular de 4 mm de espesor, se rosca la parte inferior de la pieza y, el extremo opuesto, se perfora con un diámetro de 2 mm (Ilustración 67).

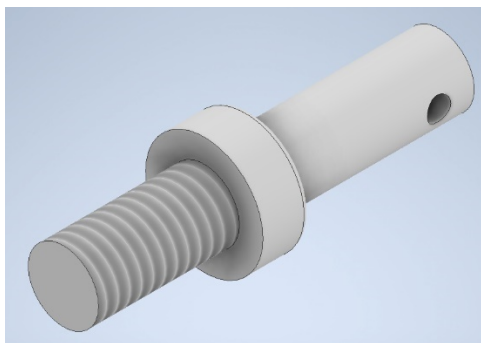


Ilustración 67. Perspectiva axonométrica del eje oscilante inferior del husillo.

### 3.1.1.27. Soporte de la varilla excéntrica

En el modelado del soporte se ha utilizado de nuevo la función 'Simetría' con la que sólo es necesario modelizar la mitad de la pieza (Ilustración 68 (Izquierda)). Se ha ejecutado la mitad del soporte con su respectivo orificio y el apoyo sobresaliente perforado tangente a su eje trasversal, orificio que servirá como unión mediante pequeños vástagos (Ilustración 68 (Derecha)).

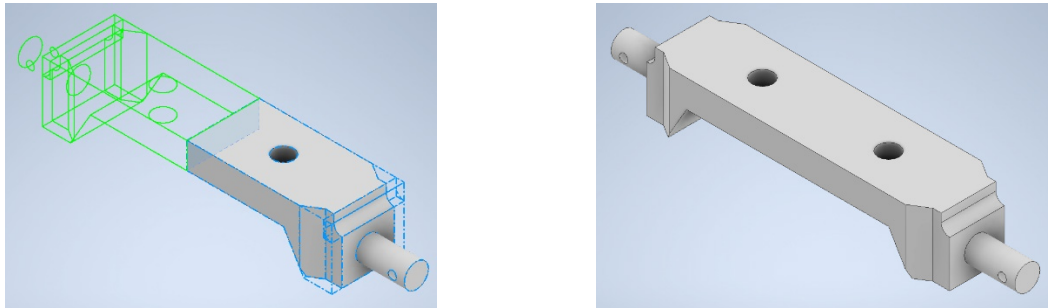


Ilustración 68. Detalle de simetría y perspectiva axonométrica del soporte de la varilla excéntrica.

### 3.1.1.28. Pistón

La cabeza del pistón se lleva a cabo con una extrusión de un cilindro de 54 mm de diámetro por 19 mm de alto. Posteriormente se realizan las muescas en las que irán colocadas las juntas tóricas, las cuales son de 3 mm de espesor y están separadas 5 mm entre sí (Ilustración 69).

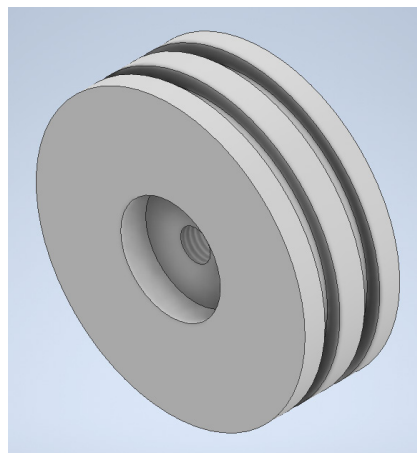


Ilustración 69. Perspectiva axonométrica del pistón.

### 3.1.1.29. Varilla del pistón

En primer lugar, toma cuerpo la pieza central de la cruceta, que va insertada en la varilla, teniendo en cuenta que esta pieza no es completamente cuadrada, ya que la base inferior es 3 mm mayor que la parte superior. En esta parte se recurre únicamente a movimientos simples de extrusión y roscado para los orificios que así lo precisen.

La varilla que va soldada a la pieza central de la cruceta y unida mediante rosca con la cabeza del pistón se ejecuta con una extrusión cilíndrica de 146 mm y, por último, la parte roscada sobresaliente de 20 mm y métrica 6 (Ilustración 70).

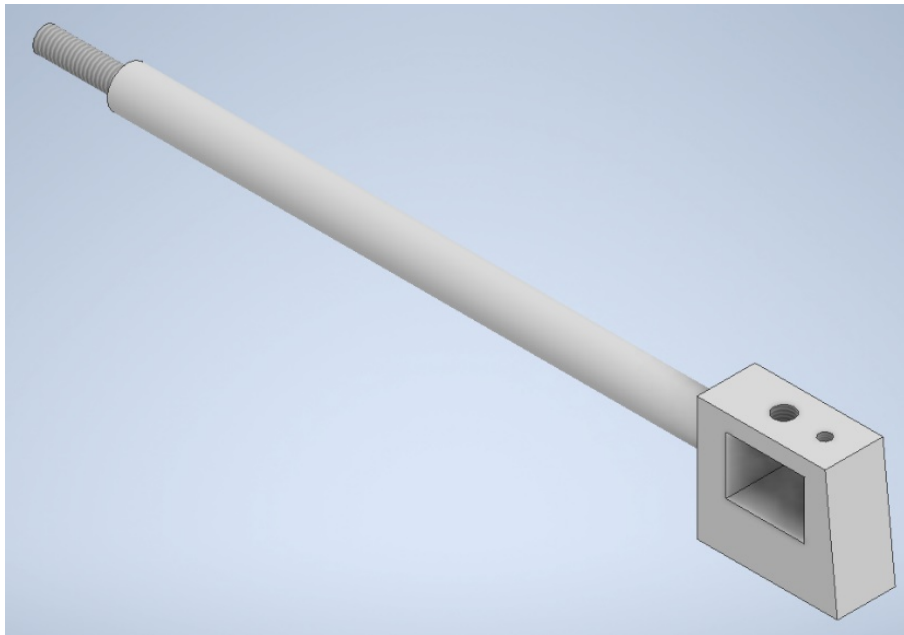


Ilustración 70. Perspectiva axonométrica de la varilla del pistón.

#### 3.1.1.30. Base de la cruceta

Consiste en una pequeña chapa de 38x41 mm y 5 mm de espesor. En ella se han hecho dos perforaciones centrales que servirán de unión con la cajeta de la varilla del pistón (Ilustración 71).

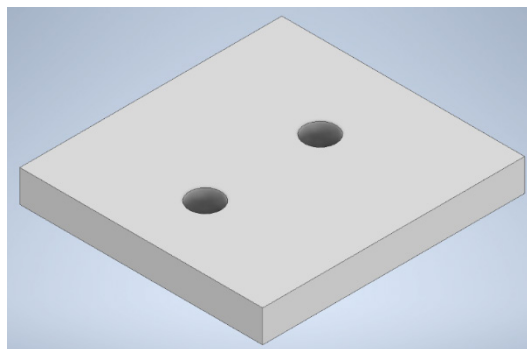


Ilustración 71. Perspectiva axonométrica de la base de la cruceta.

### 3.1.1.31 *Cruceta*

Se realiza con una extrusión de 14 mm sobre un trapecio rectángulo, el cual está perforado centralmente con un diámetro de 8 mm. En su superficie superior presenta también un orificio de 3mm (Ilustración 72).

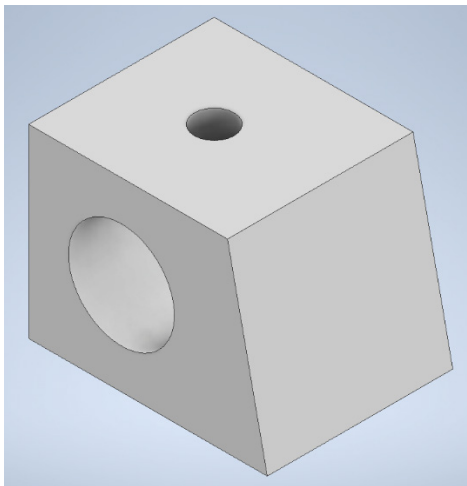


Ilustración 72. Perspectiva axonométrica de la cruceta.

### 3.1.1.32. *Cuña de la cruceta*

Esta pequeña cuña se conforma efectuando de nuevo una extrusión de 14 mm sobre un trapecio rectángulo. La base del trapecio es de 2,1 mm y la superior de 4 mm (Ilustración 73).

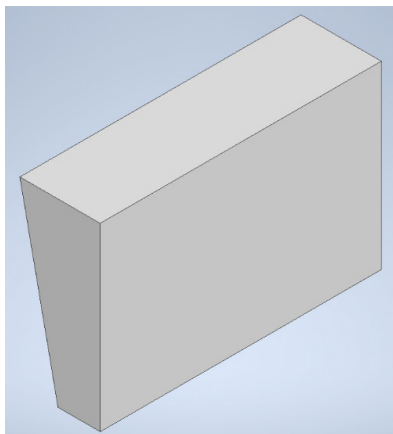


Ilustración 73. Perspectiva axonométrica de la cuña de la cruceta.

### 3.1.1.33. Junta tórica del cilindro

Consiste en un anillo de 49 mm de diámetro con una sección circular de diámetro 3 mm (Ilustración 74).



Ilustración 74. Perspectiva axonométrica de la junta tórica del cilindro.

### 3.1.1.34. Engrasador de la cruceta

Esta pieza se ha modelado mediante la utilización de la herramienta 'Revolución', ya que realizando la sección y revolucionándola con respecto a un eje central, se obtiene la pieza completa. Restaría solamente el roscado inferior e interior (Ilustración 75).

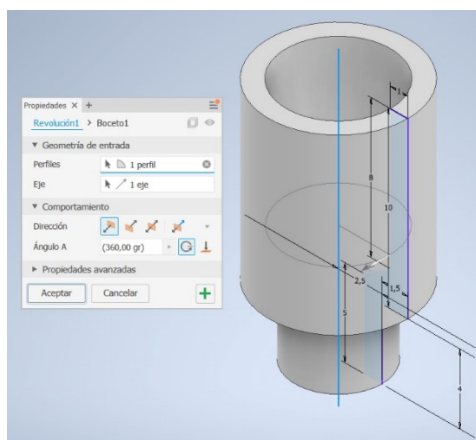


Ilustración 75. Detalle de revolución del engrasador de la cruceta.

### 3.1.1.35. Tapón del engrasador de la cruceta

Esta tapadera es la que cierra el engrasador de la cruceta expuesto en el apartado anterior. Se resuelve fácilmente mediante la revolución respecto a su eje central del perfil del tapón (Ilustración 76).

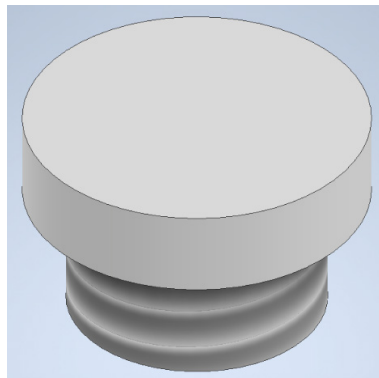


Ilustración 76. Perspectiva axonométrica del tapón del engrasador.

### 3.1.1.36. Cigüeñal

#### 3.1.1.36.1. Soporte del volante

Esta pieza consiste en una extrusión cilíndrica de 110 mm sobre una superficie circular de 19 mm de diámetro. En ella coexisten en un extremo un orificio que la atraviesa de 4 mm de diámetro que servirá de unión con el cigüeñal, y una muesca de 6 mm de ancho que recorre el extremo opuesto al orificio (Ilustración 77).

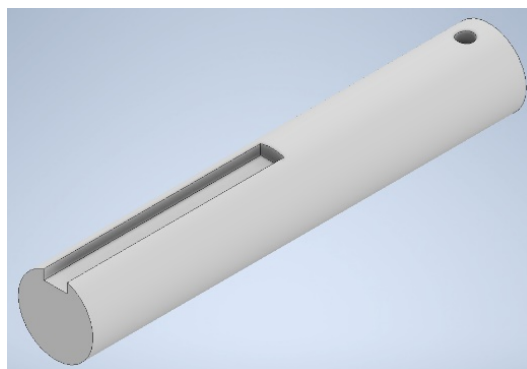


Ilustración 77. Perspectiva axonométrica del soporte del volante.

### 3.1.1.36.2. Codo de la biela

Los codos de la biela son unas pequeñas piezas de forma cilíndrica de 19 mm de diámetro por 43 mm de alto. En ambos extremos del cilindro se realizan dos orificios por los que se introducirá un vástago para unirlos a los brazos del cigüeñal (Ilustración 78).

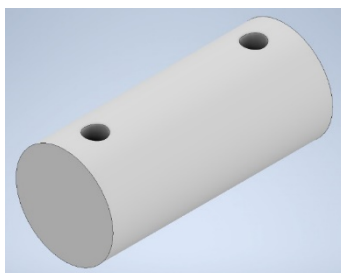


Ilustración 78. Perspectiva axonométrica del codo de la biela.

### 3.1.1.36.3. Muñón central

Consiste en una pieza cilíndrica con el mismo diámetro que los codos de la biela descritos anteriormente, pero con una longitud de 61 mm. El muñón central también posee dos orificios en los extremos, pero desfasados 90 grados entre sí (Ilustración 79).

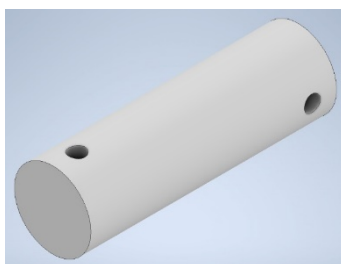
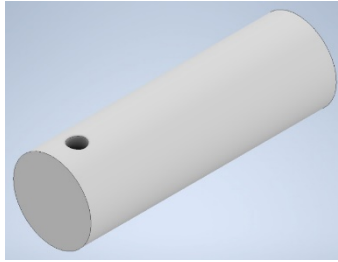


Ilustración 79. Perspectiva axonométrica del muñón central.

### 3.1.1.36.4. Muñón exterior

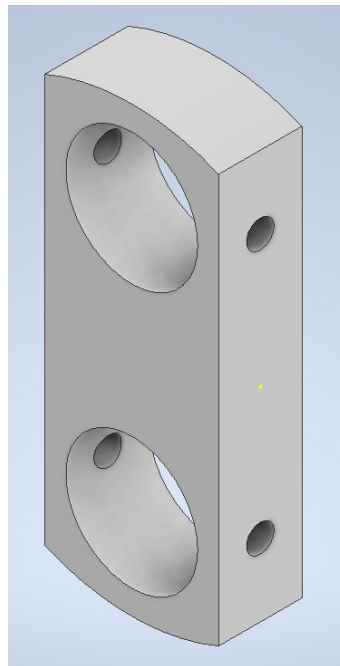
Esta pieza es homóloga a la del apartado previo, con la única diferencia de que únicamente tiene un orificio en un extremo ya que el otro queda completamente libre en la máquina (Ilustración 80).



**Ilustración 80. Perspectiva axonométrica del muñón exterior.**

#### **3.1.1.36.5. Cachete**

Se realiza un boceto del cachete y se extruye un espesor de 12 mm. Posteriormente se realizan los dos orificios principales de la pieza donde irán introducidos los muñones. Para terminar, se conforman en los perfiles de la pieza los agujeros en los que irán los vástagos a modo de sujeción (Ilustración 81).



**Ilustración 81. Perspectiva axonométrica de la cara o cachete del cigüeñal.**

#### **3.1.1.36.6. Tope del volante con el cigüeñal**

Consiste en una corona circular de diámetros de 19 y 40 mm, con un espesor de 11 mm (Ilustración 82).

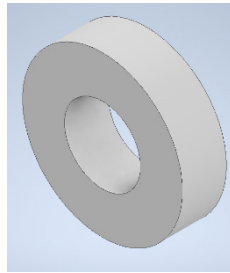


Ilustración 82. Perspectiva axonométrica del tope del volante con el cigüeñal.

### 3.1.1.36.7. Guía del volante con el cigüeñal

Pieza de perfil cuadrado de 6 por 6 mm con un espesor de 40 mm (Ilustración 83).

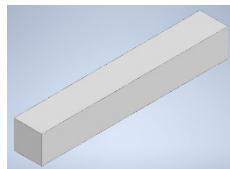


Ilustración 83. Perspectiva axonométrica de la guía del volante con el cigüeñal.

### 3.1.1.37. Volante

Se comienza el modelado de esta pieza con una revolución del perfil de su sección, obteniendo como resultado el cuerpo completo del volante (Ilustración 84).

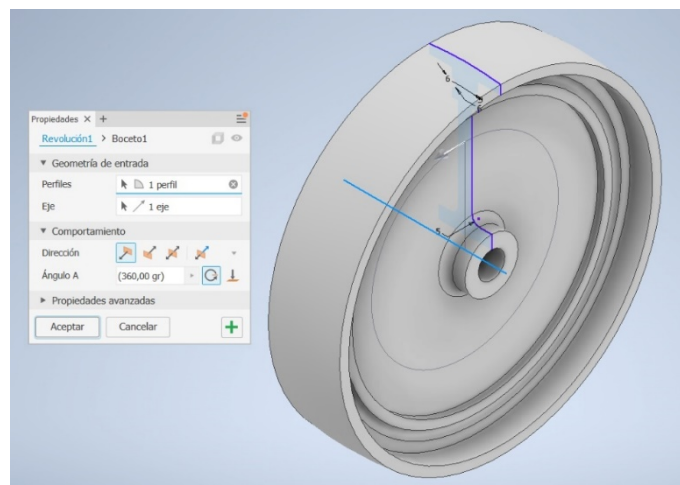
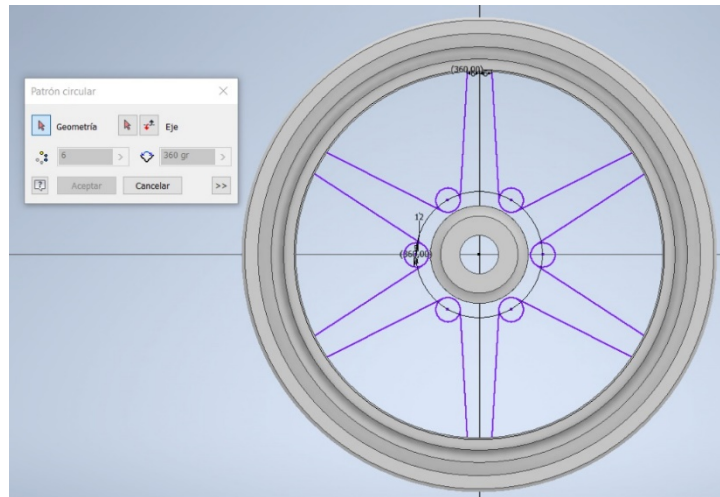


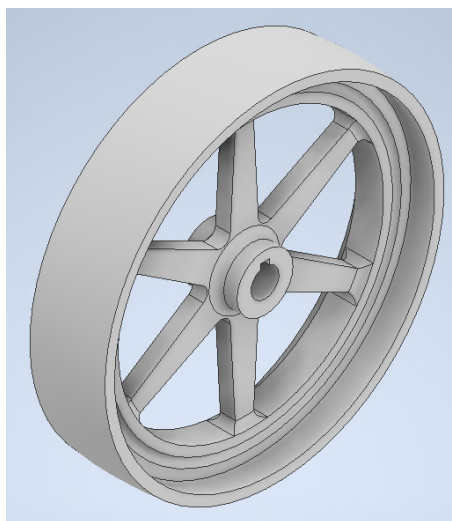
Ilustración 84. Detalle de revolución del volante.

Seguidamente, se lleva a cabo un vaciado de la parte en la que van situados los radios del volante. Para realizar estos radios, es necesario realizar en primer lugar la geometría de uno solo, para utilizar la herramienta 'Patrón circular' posteriormente, y así transportarlos a lo largo de toda la circunferencia (Ilustración 85).



**Ilustración 85. Detalle del patrón circular de los radios.**

Una vez extruidos los radios del volante, es necesario realizar la muesca en el orificio central para acoplarlo con el cigüeñal. Configurando los empalmes de los radios con el exterior del volante, se obtiene la pieza final (Ilustración 86).



**Ilustración 86. Perspectiva axonométrica del volante.**

### 3.1.1.38. Biela

El modelado de la biela comienza con la conformación del cuerpo, que es una superficie cónica de 212,5 mm de longitud y espesor 8 mm. A esta geometría se le suma el pie en forma de U, el cual presenta en sus extremos unos orificios por los que se introducirá un pasador. Este pie de la biela, así como los orificios, se realizan con operaciones sencillas de boceto y extrusión.

Para la cabeza de la biela es necesario extruir 14 mm una geometría rectangular con un pequeño pico en el extremo de unión con el cuerpo de la biela, y un hueco en la parte anterior. En este hueco irá presente otro pasador para cerrar la cabeza.

Con todas estas operaciones terminadas, y como último paso, se realizan los diferentes huecos que atraviesan la cabeza verticalmente, así como el agujero presente en el centro de la biela (Ilustración 87).

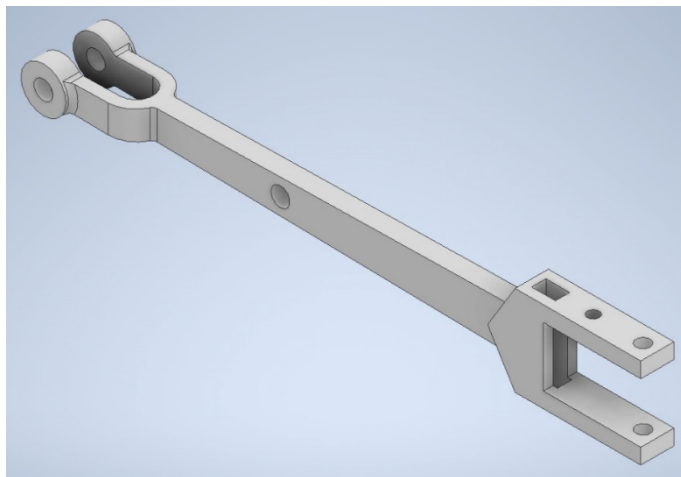
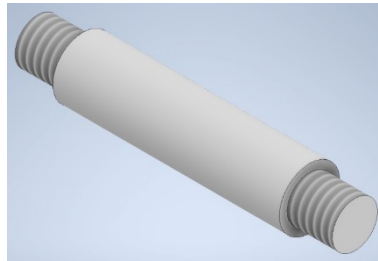


Ilustración 87. Perspectiva axonométrica de la biela.

### 3.1.1.39. Vástago del pie de la biela

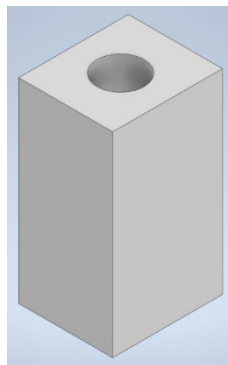
En la realización de esta parte de la biela es necesaria una extrusión cilíndrica de 30 mm de largo sobre una base circular de 8 mm de diámetro. A los extremos de este cilindro se les añade otra forma cónica roscada de 6 mm de diámetro por 6 mm de largo (Ilustración 88).



**Ilustración 88.** Perspectiva axonométrica del vástago del pie de la biela.

#### **3.1.1.40. Pasador de la cabeza de la biela**

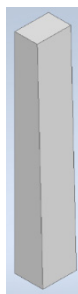
Se ejecuta un rectángulo de 12 y 14 mm de lado respectivamente y se extruyen una longitud de 25 mm (Ilustración 89).



**Ilustración 89.** Perspectiva axonométrica del pasador de la cabeza de la biela.

#### **3.1.1.41. Separador entre la biela y el cojinete de la biela**

Consiste en el modelado de un trapecio rectángulo de bases 4 y 5 mm respectivamente, una altura de 38 y un espesor de 6 (Ilustración 90).



**Ilustración 90.** Perspectiva axonométrica del separador.

### 3.1.1.42. Cojinete de la biela

Este cojinete es prácticamente semejante al cojinete del cigüeñal. Se comienza el modelado de la pieza con la extrusión del alma del cojinete que, a diferencia del cojinete del cigüeñal, posee como sección un trapecio rectángulo. Después de realizar esta extrusión se conforman las alas del cojinete y, por último, se perfora la parte superior del mismo (Ilustración 91).

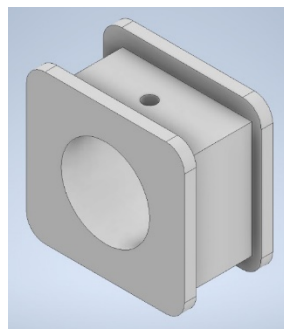


Ilustración 91. Perspectiva axonométrica del cojinete de la biela.

### 3.1.1.43. Engrasador de la biela

Esta pieza vuelve a ser igual a su homóloga, el engrasador de la cruceta, pero con unas dimensiones mayores. Como se explicó anteriormente, esta pieza se resuelve ágilmente mediante una revolución de su sección transversal con respecto al eje central de la misma. El engrasador se culmina con el roscado de sus partes inferior e interior (Ilustración 92).

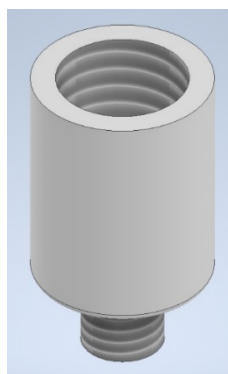


Ilustración 92. Perspectiva axonométrica del engrasador de la biela.

#### 3.1.1.44. Tapón del engrasador de la biela

En esta pieza se utiliza de nuevo la herramienta 'Revolución', obteniéndose la pieza final a falta del roscado inferior para poder unirse con el engrasador (Ilustración 93).

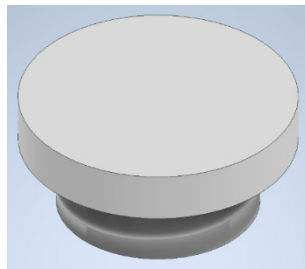


Ilustración 93. Perspectiva axonométrica del tapón del engrasador de la biela.

#### 3.1.1.45. Guía de la corredera de la válvula Joy

El modelado de esta pieza comienza con el boceto y posterior extrusión del cuerpo de la pieza, puesto que presenta un interior de geometría compleja que difícilmente se podrá modelar con un simple vaciado (Ilustración 94).

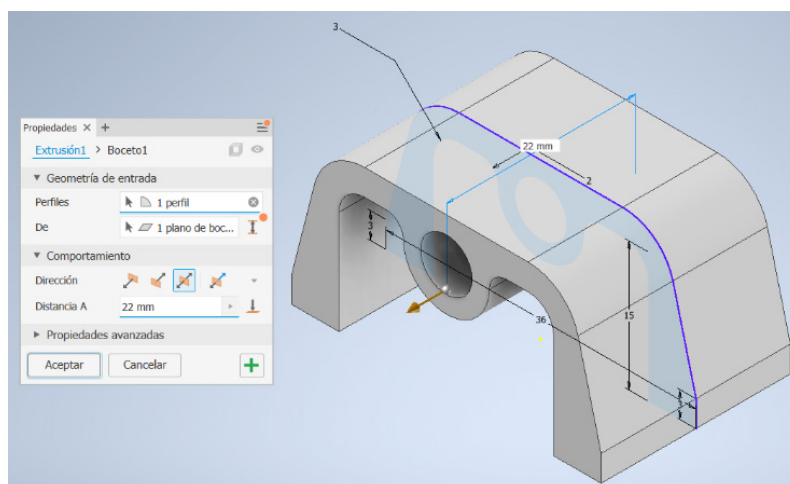
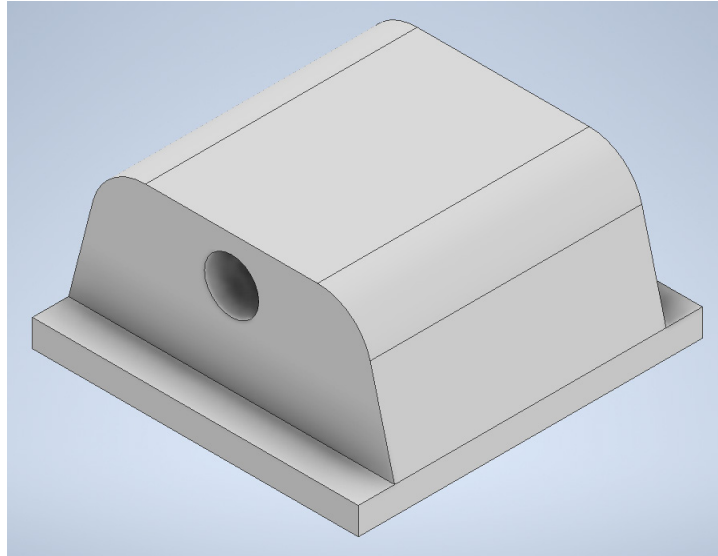


Ilustración 94. Detalle del interior de la guía de la corredera de la válvula Joy.

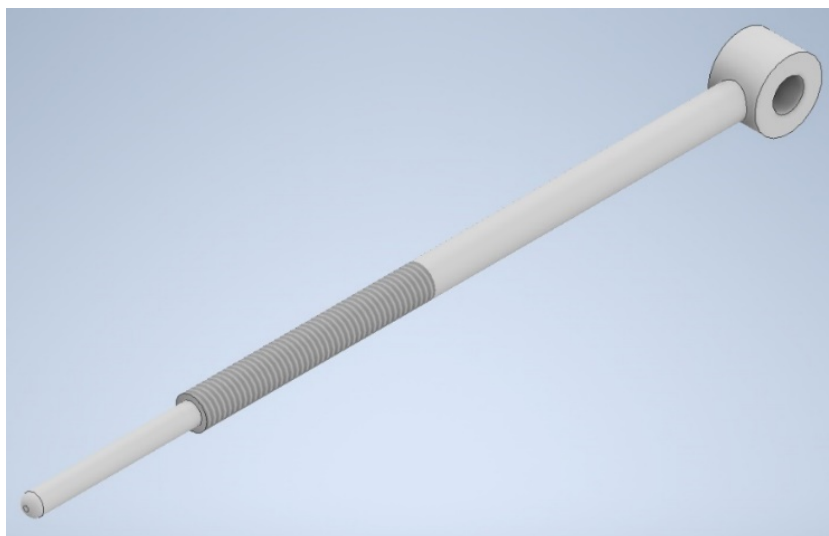
Una vez realizado este paso, se añaden las paredes frontal y anterior con sus respectivas pletinas. Para terminar, se realizan los orificios en dichas paredes, en los cuales se deslizará la corredera de la válvula Joy (Ilustración 95).



**Ilustración 95.** Perspectiva axonométrica de la guía de corredera de la válvula Joy.

#### **3.1.1.46. Eje de la válvula corredera**

En primer lugar, se realiza una extrusión de una corona circular que será la unión con el eje de la válvula Joy. A esta anilla, se le añade seguidamente el cuerpo del eje de la válvula corredera, con una longitud de 111 mm. Los últimos 50 mm del eje deben de ser roscados, y al final del mismo, se le agrega una protuberancia de 32 mm (Ilustración 96).



**Ilustración 96.** Perspectiva axonométrica del eje de la válvula corredera.

### 3.1.1.47. Eje de la válvula Joy

Se extruye el cuerpo del eje en forma de U, de longitud 175 mm y altura 8 mm. Finalmente, en los tres extremos que presenta la pieza, se modelan sendas coronas circulares de 13 y 6 mm respectivamente (Ilustración 97).

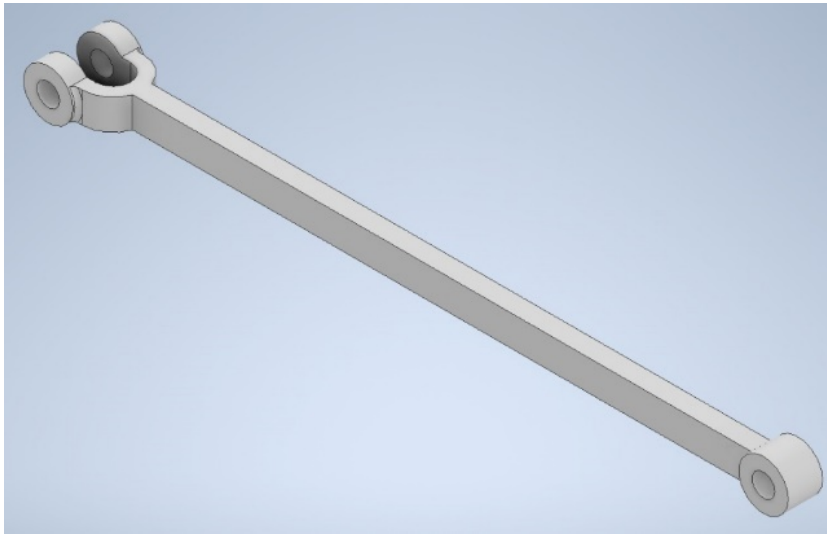


Ilustración 97. Perspectiva axonométrica del eje de la válvula Joy.

### 3.1.1.48. Vástago del eje de la válvula Joy

Este pasador es idéntico al descrito en apartados anteriores. Sus dimensiones son 19 mm de longitud por 6 mm de diámetro para el cilindro central, y 4 mm por 4 mm de radio para cada saliente (Ilustración 98).

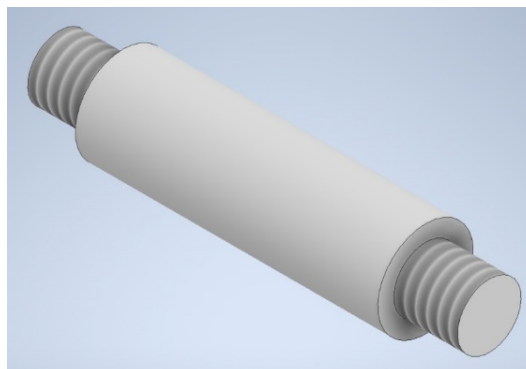


Ilustración 98. Perspectiva axonométrica del vástago del eje de la válvula Joy.

### 3.1.1.49. Carcasas del enlace de expansión

Existen dos carcasas (izquierda y derecha) para el enlace de expansión. En este apartado se explica cómo se ha modelado la carcasa derecha, siendo la izquierda (Ilustración 99 (Izquierda)) una pieza simétrica de la derecha. En primer lugar, se realiza un boceto de la sección transversal de la carcasa, configurando los enlaces tangentes necesarios entre las dos superficies curvas de 13 y 18 mm, extruyendo dicha sección un espesor de 8 mm. Después se practican los cuatro orificios característicos de la pieza, quedando como último paso el vaciado de la muesca lateral que posee dicha carcasa (Ilustración 99 (Derecha)).

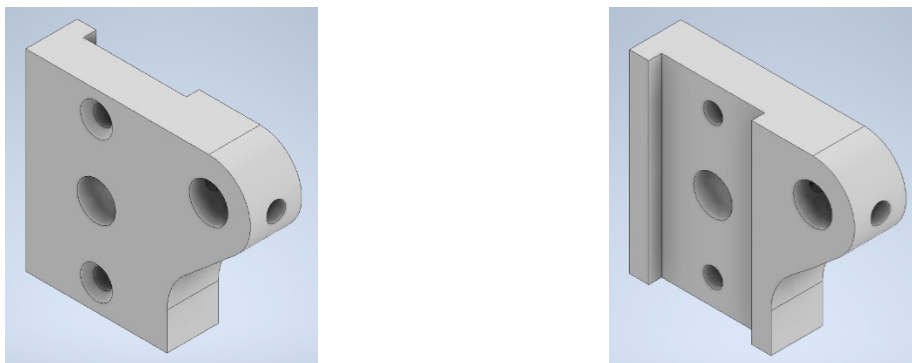


Ilustración 99. Perspectivas axonométricas de las carcasas del enlace de expansión.

### 3.1.1.50. Barra de enlace de la carcasa

Se comienza el modelado conformando un cilindro de 42 mm de alto y con base de 9 mm de diámetro. A este cilindro se le añaden en sus extremos dos enganches, también cilíndricos, de 6 mm en los cuales se harán sendos orificios necesarios para realizar uniones (Ilustración 100).

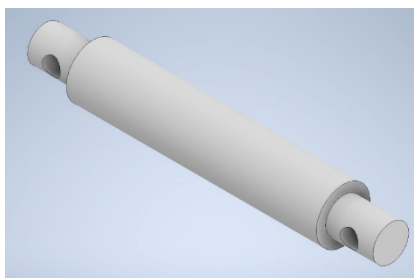


Ilustración 100. Perspectiva axonométrica de la barra de enlace de la carcasa.

### 3.1.1.51. Barra de enlace de la carcasa II

Esta barra de enlace, de fisonomía similar a la anterior, se compone nuevamente de una base cilíndrica de 9 mm de diámetro y altura 2 mm. A este cilindro también se le añaden los apoyos de los extremos de 6 mm de diámetro, pero sin agujerear (Ilustración 101).

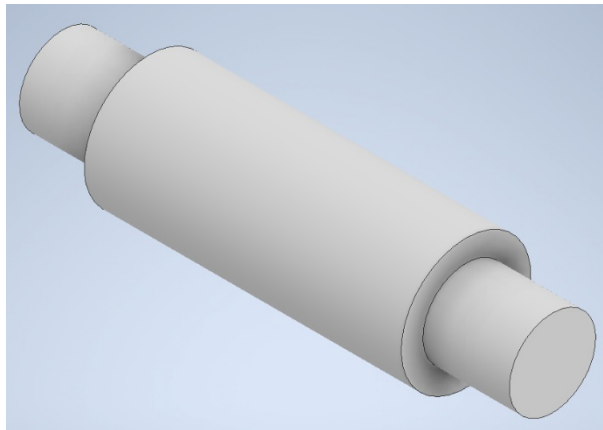


Ilustración 101. Perspectiva axonométrica de la barra de enlace de la carcasa II.

### 3.1.1.52. Eje de la carcasa del enlace de expansión

Se inicia la pieza con la extrusión de una base circular de 9 mm de diámetro una longitud de 40 mm. En un extremo se le añade un apoyo de diámetro 6 mm y en otro, una muesca semicircular de 1,5 mm de radio y 17 mm de longitud (Ilustración 102).

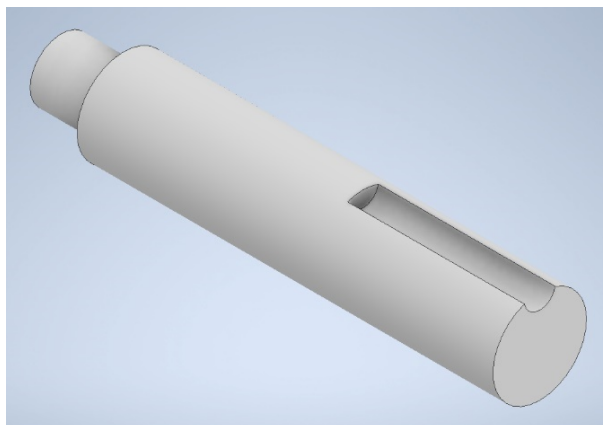


Ilustración 102. Perspectiva axonométrica del eje de la carcasa del enlace de expansión.

### 3.1.1.53. Eje de la carcasa del enlace de expansión II

Al ser un eje que se sitúa en el lado opuesto al descrito en el apartado anterior, presenta la misma sección circular de 9 mm, pero esta vez con 25 mm de longitud. En uno de sus extremos se le añade el apoyo de 6 mm de diámetro (Ilustración 103).

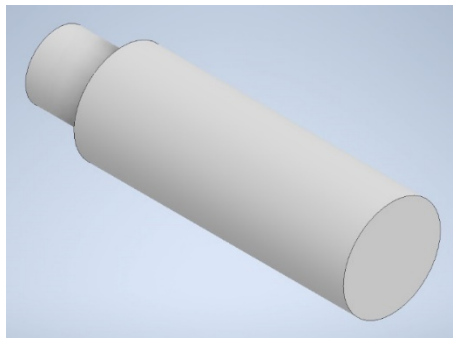


Ilustración 103. Perspectiva axonométrica del eje de la carcasa del enlace de expansión II.

### 3.1.1.54. Enlace de expansión

Para que esta pieza cumpla sus futuras funciones, es necesaria una extrusión de 3 mm de espesor, de un trapecio circular de radios 167 y 183 mm y 15,5 grados sexagesimales (Ilustración 104).

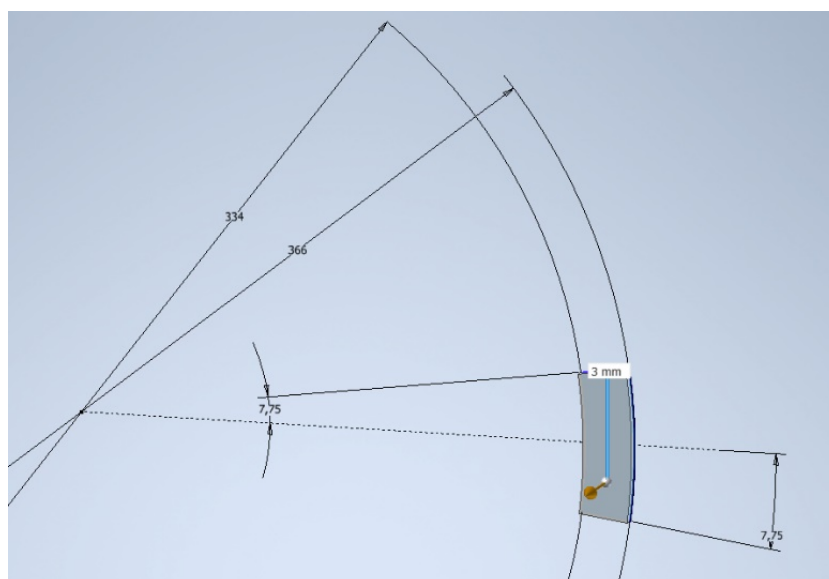


Ilustración 104. Detalle de extrusión del trapecio circular.

A esta sección se le añaden dos paredes de 8 mm de lado y, posteriormente, se realizan los dos orificios de 3 mm de diámetro. Esta pieza se termina con el achatado de una de sus caras exteriores (Ilustración 105).

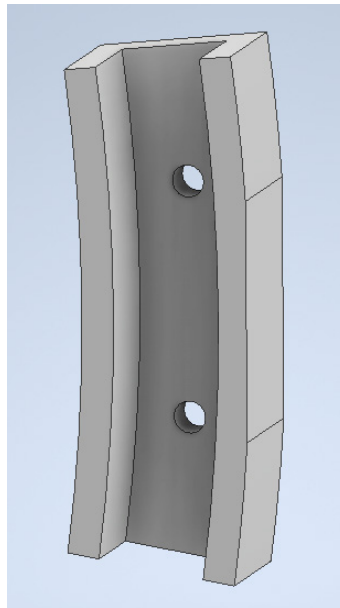


Ilustración 105. Perspectiva axonométrica del enlace de expansión.

#### 3.1.1.55. Tuerca corredera del enlace de expansión

Esta tuerca, al estar alojada en el interior del enlace de expansión, dispone de una sección con forma de trapecio circular de 340 y 360 mm de diámetro y 7 grados sexagesimales, que se extruye con un espesor de 8 mm (Ilustración 106).

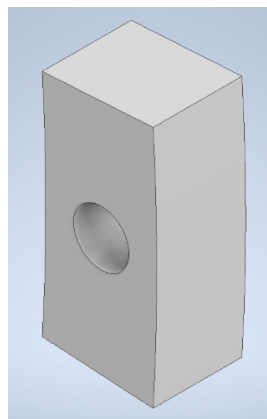


Ilustración 106. Perspectiva axonométrica de la tuerca corredera del enlace de expansión.

### 3.1.1.56. Enlace de elevación

El modelado de esta pieza comienza con la extrusión de su cuerpo central, con un extremo en forma de U al que se le añaden dos coronas circulares que se usarán como sujeción. Al extremo sobrante del cuerpo central se le agrega un cilindro hueco y descentrado 2,5 mm, que presenta en el borde de su orificio inferior una muesca de 3 mm de radio y que recorre el cilindro longitudinalmente (Ilustración 107).

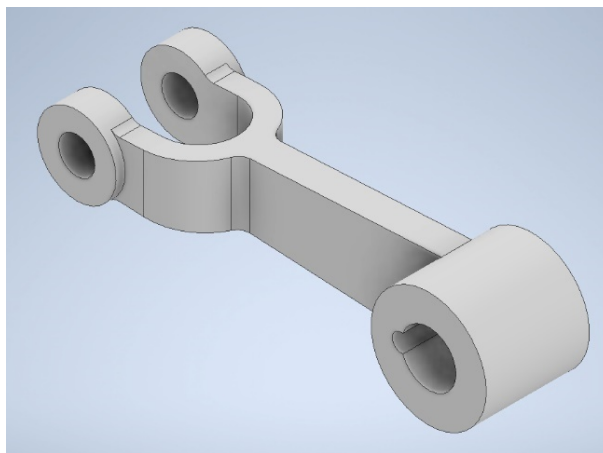


Ilustración 107. Perspectiva axonométrica del enlace de elevación.

### 3.1.1.57. Pasador del enlace de elevación

Se compone de un cilindro de 6 mm de diámetro por 28,5 de altura, al que se le agrega en su parte inferior una base de 10 mm de diámetro por 3 de espesor. En el extremo restante se realiza un orificio de diámetro 2,5 mm (Ilustración 108).

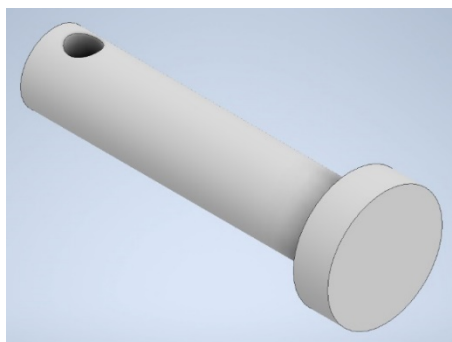


Ilustración 108. Perspectiva axonométrica del pasador del enlace de elevación.

### 3.1.1.58. Cojinete del husillo de revolución

En primer lugar, se realiza una extrusión del perfil de la pieza (Ilustración 109 (Izquierda)), que se redondea en su parte superior para obtener la pieza final (Ilustración 109 (Derecha)).

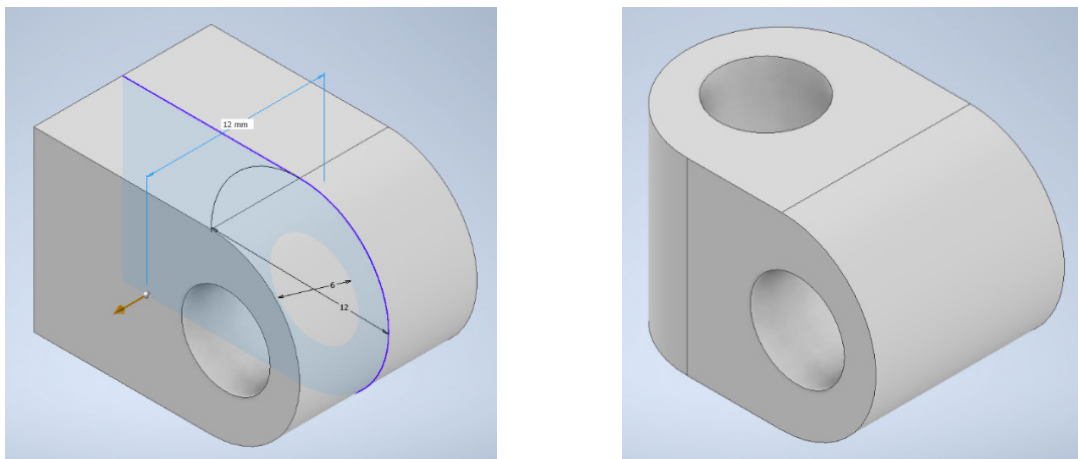


Ilustración 109. Detalle de extrusión y perspectiva axonométrica del cojinete del husillo de revolución.

### 3.1.1.59. Eje del husillo de revolución

En primer lugar, se lleva a cabo la extrusión de una varilla de 6 mm de diámetro por 153 mm de longitud. Esta pequeña varilla se divide en tres partes desiguales mediante unos pequeños cilindros de 10 mm de diámetro por 4 y 6 mm de espesor, respectivamente. La sección mayor del eje está completamente roscada, mientras que al otro extremo se le realiza un roscado de únicamente 8 mm de longitud (Ilustración 110).



Ilustración 110. Perspectiva axonométrica del eje del husillo de revolución.

### 3.1.1.60. Maneta del husillo de revolución

Se inicia la pieza con la revolución del perfil de la maneta (Ilustración 111 (Izquierda)), obteniéndose como resultado la pieza inicial. Seguidamente, se realiza el orificio central roscado y uno de los seis grandes orificios que rodean la pieza (Ilustración 111 (Derecha)).

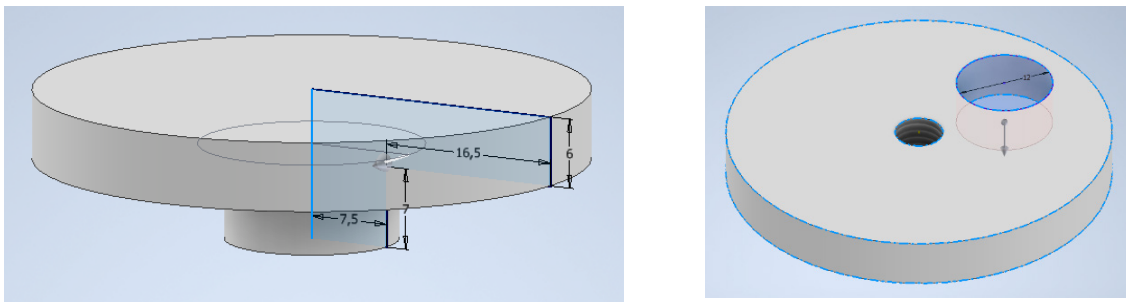


Ilustración 111. Detalles de revolución y vaciado.

Para finalizar la pieza, se utiliza la herramienta 'Patrón circular' para trasladar a lo largo de la circunferencia los seis orificios que la componen (Ilustración 112).

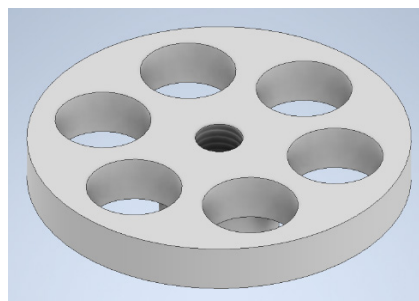


Ilustración 112. Perspectiva axonométrica de la maneta del husillo de revolución.

### 3.1.1.61. Varilla excéntrica

El modelado de la varilla comienza con la extrusión de 4 mm del perfil excéntrico de una varilla en la que en uno de sus extremos se produce una desviación del mismo equivalente a la de una circunferencia de radio 20 mm situada a 8 mm respecto a la línea que une los dos extremos redondeados de la pieza (Ilustración 113 (Izquierda)). Para concluir, se llevan a cabo los dos enganches de los extremos mediante movimientos de extrusión y vaciado (Ilustración 113 (Derecha)).

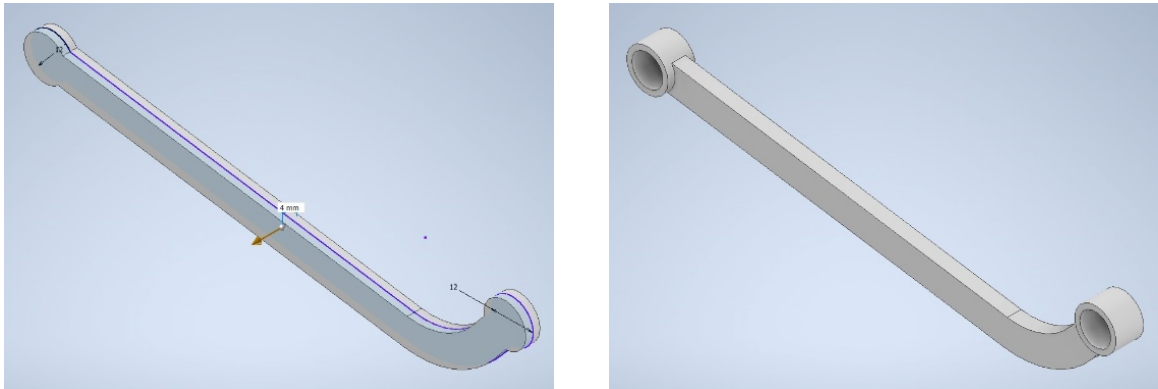


Ilustración 113. Detalle de extrusión y perspectiva axonométrica de la varilla excéntrica.

### 3.1.1.62. Palanca inferior de la válvula 'Joy'

#### 3.1.1.62.1. Pletina de la palanca

La pletina consiste en una placa de 68 mm de longitud por 10 de alto y espesor 3 mm, redondeada en sus extremos, en la que se practican cuatro perforaciones, tres de 5 mm de diámetro y una de 7 mm (Ilustración 114).

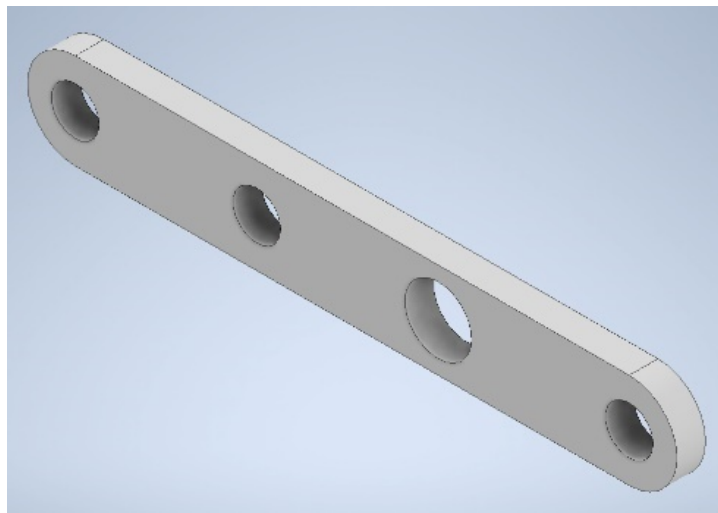
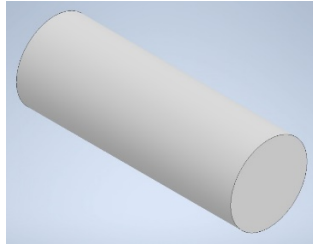


Ilustración 114. Perspectiva axonométrica de la pletina.

#### 3.1.1.62.2. Pasador I

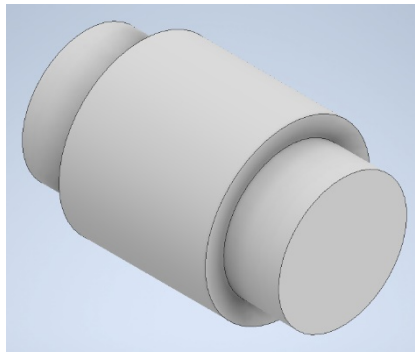
El modelado es un cilindro de 5 mm de diámetro y 14 mm de altura (Ilustración 115).



**Ilustración 115. Perspectiva axonométrica del pasador I.**

### **3.1.1.62.3. Barra de enlace**

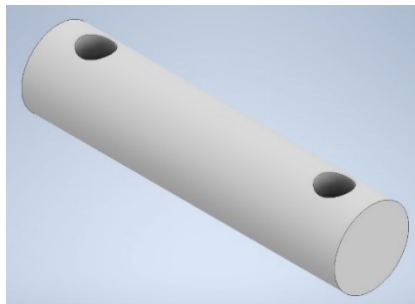
Se trata de un cilindro de 9 mm de diámetro por 8 de altura, del que sobresalen dos apoyos en sus extremos de 7 mm de diámetro (Ilustración 116).



**Ilustración 116. Perspectiva axonométrica de la barra de enlace.**

### **3.1.1.62.4. Pasador II**

Pasador de forma cilíndrica de 21 mm de longitud por 5 mm de diámetro que presenta en sus extremos dos orificios de 2 mm de diámetro (Ilustración 117).



**Ilustración 117. Perspectiva axonométrica del pasador II.**

### 3.1.1.63. Palanca superior de la válvula 'Joy'

#### 3.1.1.63.1. Pletina de la palanca

Pletina de 82 mm de longitud y 10 de altura, extruida un espesor de 3 mm. Posee en sus extremos redondeados dos orificios de 6 mm de diámetro, y un tercer orificio de 5 mm de diámetro situado a 11,5 mm con respecto a uno de los dos anteriores (Ilustración 118).

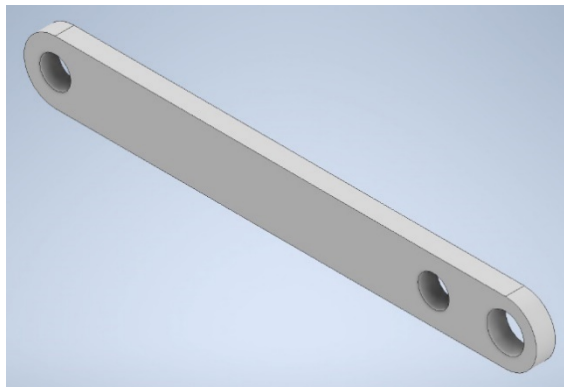


Ilustración 118. Perspectiva axonométrica de la pletina de la palanca.

#### 3.1.1.63.2. Pasador I

Pasador cilíndrico de 22 mm de longitud por 6 mm de diámetro (Ilustración 119).

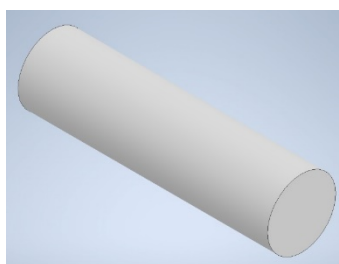
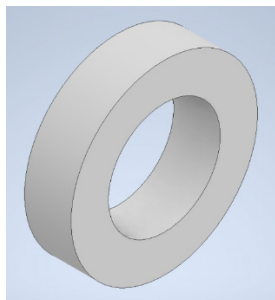


Ilustración 119. Perspectiva axonométrica del pasador I.

#### 3.1.1.63.3. Arandela del pasador I

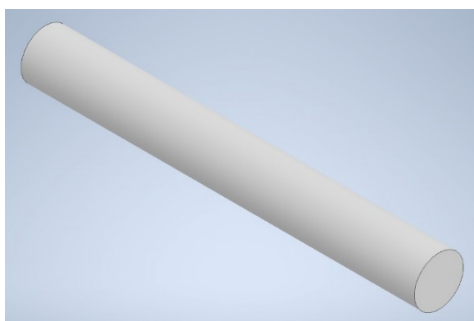
Esta arandela se modela extruyendo una corona circular de 6 y 10 mm de diámetro un espesor de 2,5 mm (Ilustración 120).



**Ilustración 120. Perspectiva axonométrica de la arandela del pasador I.**

#### **3.1.1.63.4. Pasador II**

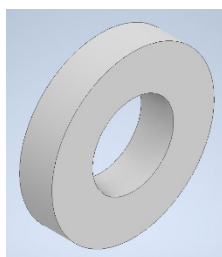
Se trata de un cilindro de base circular de 5 mm de diámetro y altura de 40 mm (Ilustración 121).



**Ilustración 121. Perspectiva axonométrica del pasador II.**

#### **3.1.1.63.5. Arandela del pasador II**

Arandela de diámetros 5 y 10 mm respectivamente, con un espesor de 2 mm (Ilustración 122).



**Ilustración 122. Perspectiva axonométrica de la arandela del pasador II.**

### 3.1.1.63.6. Pasador III

Varilla cilíndrica de diámetro 5 mm y 27 de longitud. En sus extremos se conforman dos orificios de 2 mm (Ilustración 123).

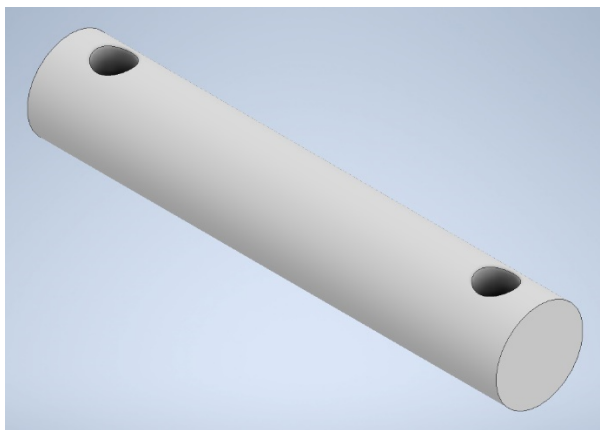


Ilustración 123. Perspectiva axonométrica del pasador III.

### 3.1.1.64. Elementos de fijación

La máquina precisa de tornillería y tuercas que no van a ser modeladas ya que Autodesk Inventor Professional dispone de una biblioteca de materiales y elementos normalizados que se pueden utilizar libremente.

### 3.1.2. Descripción del ensamblaje

A continuación, se procede a describir el proceso de ensamblaje una vez realizadas las piezas expuestas en el apartado anterior.

Observando los planos originales realizados por Julius de Waal, se pueden diferenciar 12 subensamblajes ordenados que son necesarios para conformar el ensamblaje final de la máquina de forma sencilla, debido a que posee un volumen amplio de piezas que difícilmente se podrían ensamblar una por una.

A continuación, se mostrará cada parte de los subensamblajes, junto con la descripción del proceso seguido y las operaciones utilizadas de forma resumida. Sin

embargo, no se han creado planos individuales para estas partes, ya que su único propósito es simplificar el proceso. En primer lugar, es necesario asignar un material a cada una de las piezas que han sido modeladas. Este proceso se lleva a cabo teniendo en cuenta la selección de materiales realizada por Julius de Waal, puesto que no se tienen referencias del propio Henry Muncaster. Además, esta asignación de materiales cambiará la apariencia de las piezas, lo que resultará en un conjunto ensamblado más atractivo visualmente.

### 3.1.2.1 Subensamblaje 1: Soporte del cigüeñal

Se da comienzo a este primer subensamblaje (Ilustración 124) insertando el alojamiento del cojinete del cigüeñal inferior (marca 3), que se une al cojinete (marca 4) mediante una restricción de coincidencia de caras. Ambos elementos son cerrados por el alojamiento del cojinete del cigüeñal superior (marca 2) utilizando de nuevo una restricción de coincidencia entre caras y una entre los ejes concéntricos de los alojamientos. Seguidamente, se sujetan estas tres piezas por medio de dos pernos DIN 976-1 A M8 x 40 (marca 95) y dos tuercas DIN 1587 M8 (marca 50). Por último, se corona el subensamblaje con la colocación de la tapa del orificio de aceite del cojinete (marca 5) con las restricciones expuestas anteriormente.

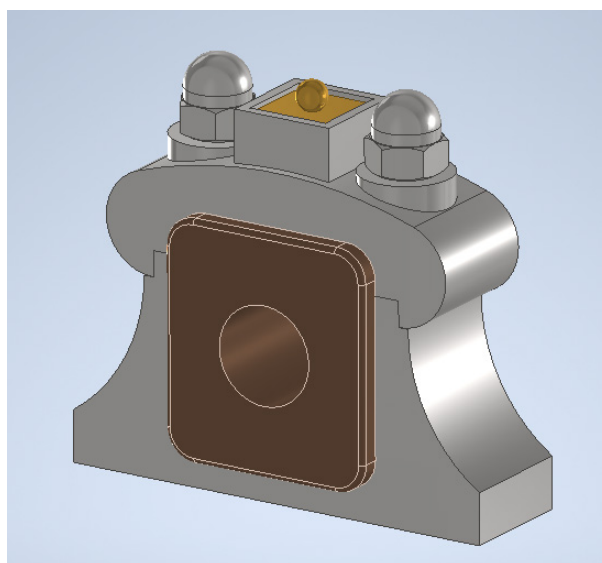


Ilustración 124. Subensamblaje 1.

### 3.1.2.2. Subensamblaje 2: Cubierta trasera del cilindro

En este subensamblaje (Ilustración 125) coexisten tres piezas unidas entre sí mediante restricciones de coincidencia de caras y de ejes, ya vistos anteriormente. En el interior de la cubierta trasera del cilindro (marca 14) se encuentran alojados el tope y el casquillo de la cubierta trasera (marcas 98 y 97 respectivamente).

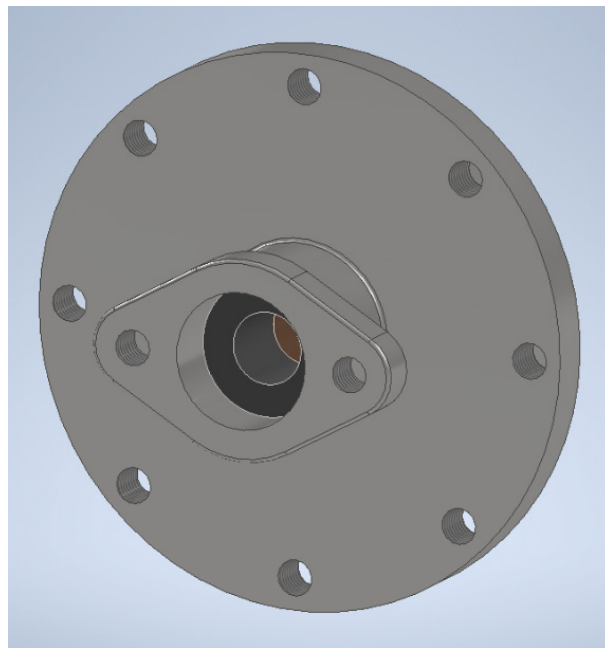


Ilustración 125. Subensamblaje 2.

### 3.1.2.3. Subensamblaje 3: Cofre de válvulas

Se aplican restricciones de coincidencia entre ejes y caras. Este subensamblaje (Ilustración 126) está formado por el cofre de válvulas (marca 18), la cubierta del cofre (marca 19), cuatro pernos DIN 976-1 A M8 x 40 (marca 95), cuatro tuercas DIN 1587 M8 (marca 50), dos pasamuros (marca 15), topes y casquillos (marcas 99 y 96 respectivamente), dos pernos DIN 976-1 A M4 x 22 (marca 104), dos tuercas ISO 4035 M3 (marca 53), dos tapas del extremo de la válvula corredera (marca 45), el soporte de entrada de vapor (marca 43), cuatro pernos ISO 4017 M4 x 12 (marca 42) y el tubo de entrada de vapor (marca 44).

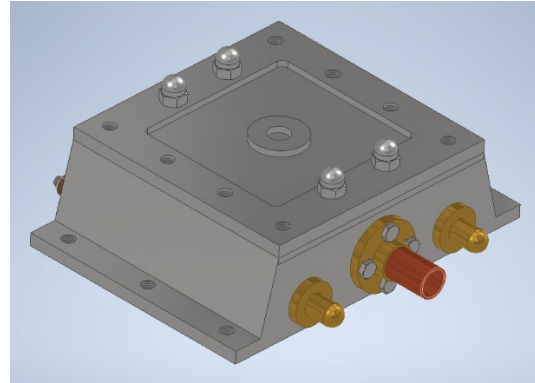
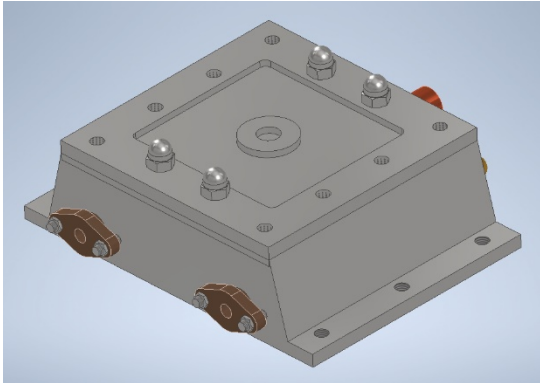


Ilustración 126. Subensamblaje 3.

#### 3.1.2.4. Subensamblaje 4: Bloque de cilindros

Se ensambla (Ilustración 127) de manera similar al anterior, es decir, a través de restricciones de coincidencia. Intervienen el bloque de cilindros (marca 16), el subensamblaje 2, pasamuros del pistón (marca 15), 4 pernos ISO 4017 M5 x 12 (marca 100), cubierta delantera del cilindro (marca 40), 32 pernos ISO 4017 M5 x 12, dos camisas (marca 39), el subensamblaje 3, 6 pernos ISO 4017 M6 x 12 (marca 46), tubo de salida de vapor (marca 88), 6 pernos ISO 4017 M4 x 12 (marca 42), y el tubo de salida de vapor (marca 41).

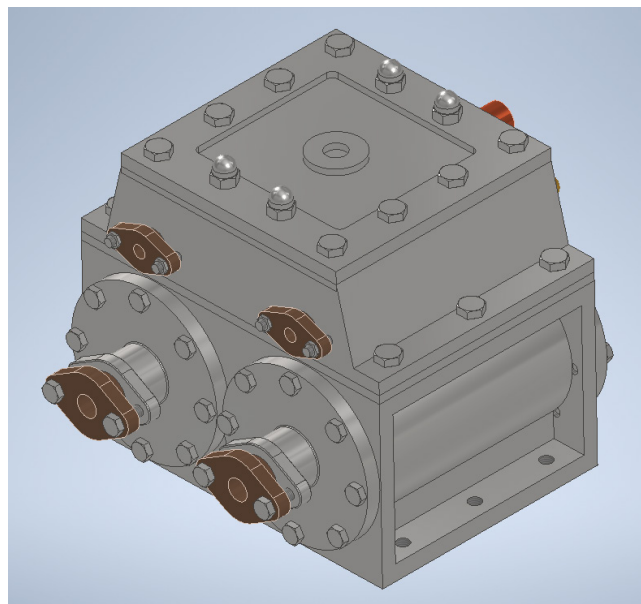


Ilustración 127. Subensamblaje 4.

### 3.1.2.5. Subensamblaje 5: Pistón

Las restricciones aplicadas son de coincidencia, ya sea en ejes, aristas o superficies. Para este subensamblaje (Ilustración 128) es necesario insertar en la posición específica la cuña y la cruceta (marcas 54 y 55 respectivamente), la varilla del pistón (marca 23), la base de la cruceta (marca 56), un perno ISO 4017 M3 x 10 (marca 52), tuerca ISO 4035 M3 (marca 53), el engrasador de la cruceta con su respectivo tapón (marca 57 y 58 respectivamente), el pistón (marca 38), dos juntas tóricas (marca 49) y una tuerca ISO 4035 M6 (marca 39).

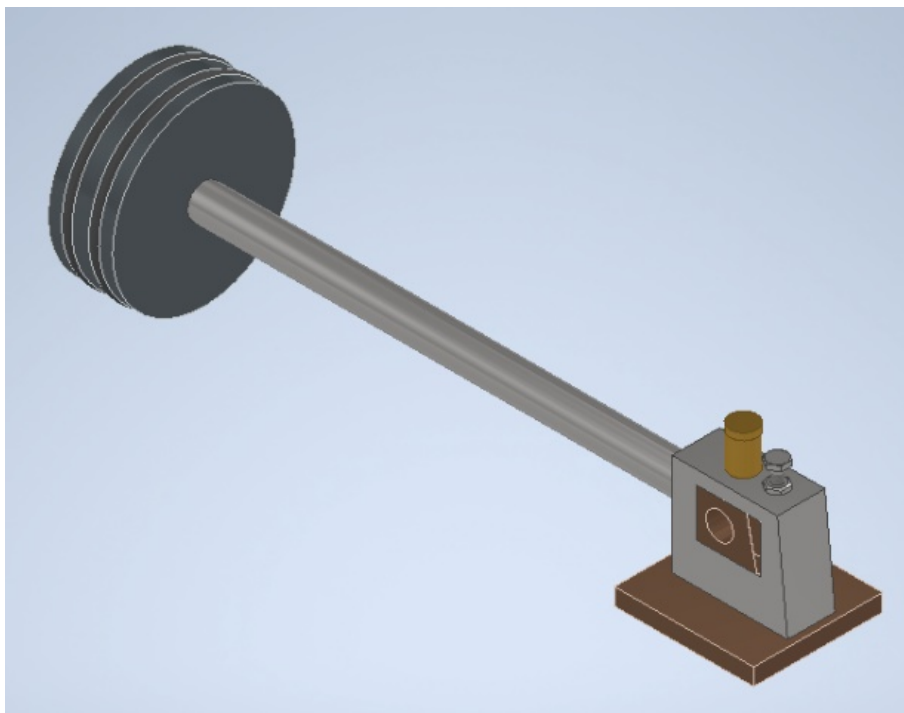


Ilustración 128. Subensamblaje 5.

### 3.1.2.6. Subensamblaje 6: Cigüeñal

Se insertan las restricciones pertinentes, idénticas a las anteriores expuestas. El resultado final (Ilustración 129) está formado por el volante (marca 24), soporte del volante (marca 59), guía del volante con el cigüeñal (marca 60), codo de la biela (marca 61), cachete (marca 62), muñón exterior (marca 63), pasador del cigüeñal (marca 64), muñón central (marca 65) y el tope del volante con el cigüeñal (marca 66).

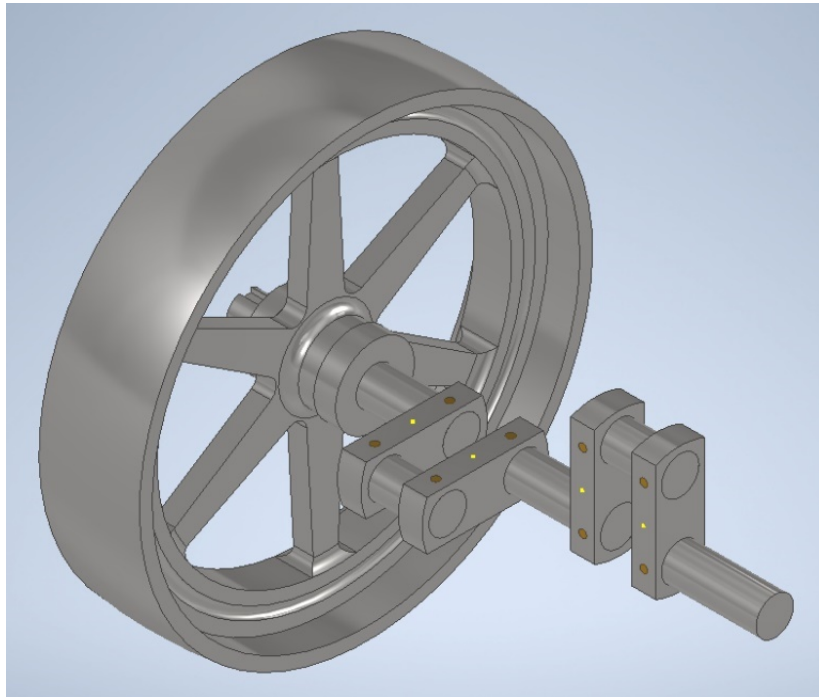


Ilustración 129. Subensamblaje 6.

### 3.1.2.7. Subensamblaje 7: Palanca inferior

Tras aplicar las restricciones de coincidencia vistas, se obtiene el subensamblaje de la palanca inferior (Ilustración 130) haciendo uso de dos pletinas de la palanca inferior (marca 32), pasador I (marca 31), barra de enlace (marca 33), pasador (marca 79) y pasador II (marca 80).

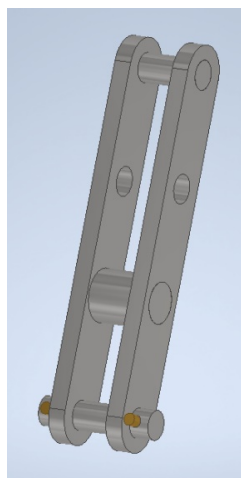


Ilustración 130. Subensamblaje 7.

### 3.1.2.8. Subensamblaje 8: Palanca superior

Este subensamblaje (Ilustración 131) está formado por dos pletinas (marca 78), pasador I y II (marcas 86 y 77 respectivamente), arandelas I y II del pasador (marcas 84 y 85 respectivamente) y un pasador (marca 81).

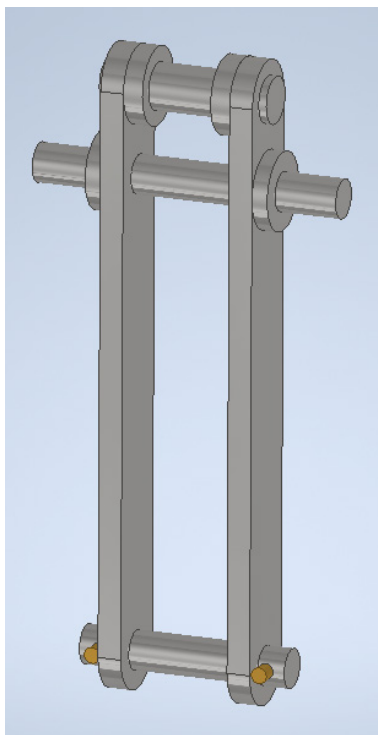


Ilustración 131. Subensamblaje 8.

### 3.1.2.9. Subensamblaje 9: Enlace de expansión

Dicho subensamblaje (Ilustración 132) consta del pasador del enlace de elevación (marca 12), eje de la carcasa II (marca 67), enlace de expansión (marca 68), barra de enlace de la carcasa (marca 69), carcasa derecha (marca 70), carcasa izquierda (marca 71), perno ISO 4029 M3 x 8 (marca 72), eje de la carcasa (marca 73), pasador del eje de la carcasa (marca 74), pasador del enlace de expansión (marca 75) y pasador de la carcasa (marca 101).

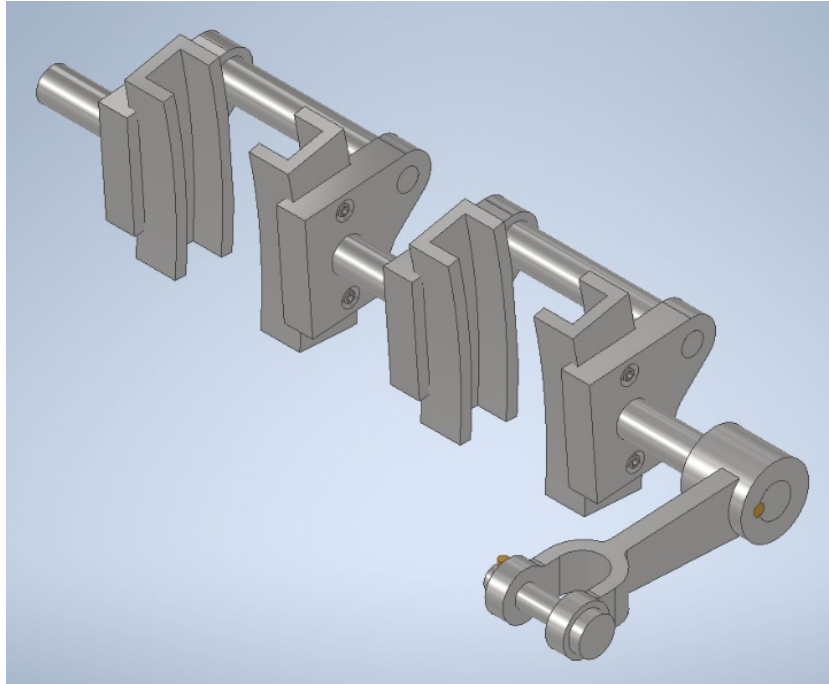


Ilustración 132. Subensamblaje 9.

#### 3.1.2.10 Subensamblaje 10: Válvula corredera

Al igual que los subensamblajes anteriores, se conforma (Ilustración 133) mediante simples restricciones entre caras y ejes, interviniendo el eje de la válvula corredera (marca 21), la guía corredera (marca 48) y dos tuercas ISO 4161 M5 (marca 47) que la sujetan.

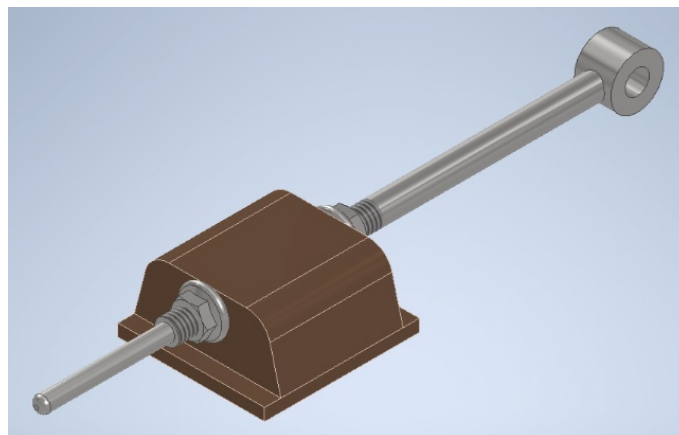


Ilustración 133. Subensamblaje 10.

### 3.1.2.11 Subensamblaje 11: Biela

Está formado (Ilustración 134) por la biela (marca 6), engrasador y tapón de la biela (marcas 25 y 26 respectivamente), cojinete (marca 27), perno ISO 4017 M6 x 45 (marca 28), tuerca ISO 4035 M6 (marca 29), casquillo interior (marca 30), vástago del pie de la biela (marca 82) y tuerca DIN 1587 M6 (marca 50).

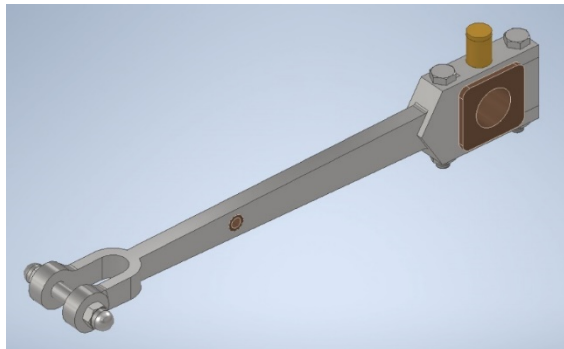


Ilustración 134. Subensamblaje 11.

### 3.1.2.12 Subensamblaje 12: Válvula Joy

Este último subensamblaje (Ilustración 135) se lleva a cabo con la unión de tres anteriores (subensamblajes 7, 8 y 11). Asimismo, también intervienen la varilla excéntrica (marca 35), casquillos (marcas 34 y 37), tuerca corredera del enlace de expansión (marca 87), vástago del eje de la válvula (marca 83) y eje de la válvula (marca 22).

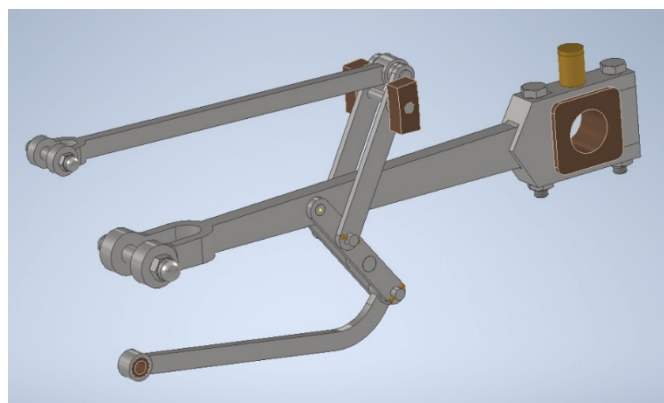


Ilustración 135. Subensamblaje 12.

### 3.1.2.13. *Ensamblaje final*

Finalizados los distintos subensambajes expuestos previamente, es posible su unión, añadiendo los demás elementos que no pertenecen a ninguno de los anteriores para obtener su ensamblaje final (Ilustraciones 136 y 137). Esto se hace estableciendo las restricciones pertinentes en cuanto a su posición, las más comunes incluyen la alineación de ejes, bordes y superficies, así como la nivelación de las superficies.

Cabe recalcar que el enlace de expansión (subensamblaje 9) se ha colocado de manera horizontal y fija, ya que este elemento es inclinado hacia arriba o abajo mediante el husillo. Esta elevación o decrecimiento es usada para que la tuerca corredera del enlace de expansión (marca 87) se deslice con más o menos rozamiento, consiguiendo así regular la velocidad de funcionamiento de la máquina. Para el análisis estático a realizar conviene considerar fijo este subensamblaje, aunque en realidad no lo sea, porque si estuviese libre podría daría resultados confusos, aparte de que habría que hacer un estudio por cada grado de inclinación del enlace de expansión, lo que conllevaría un trabajo adicional innecesario escapándose del objetivo del presente TFG.

Por último, se ha utilizado la herramienta de presentación que ofrece Inventor Professional para realizar perspectivas estalladas (Ilustración 138). Debido al elevado número de componentes que presenta la máquina ha sido necesario ocultar las líneas de trayectoria de los mismos, consiguiendo así un modelo mucho más limpio e intuitivo.

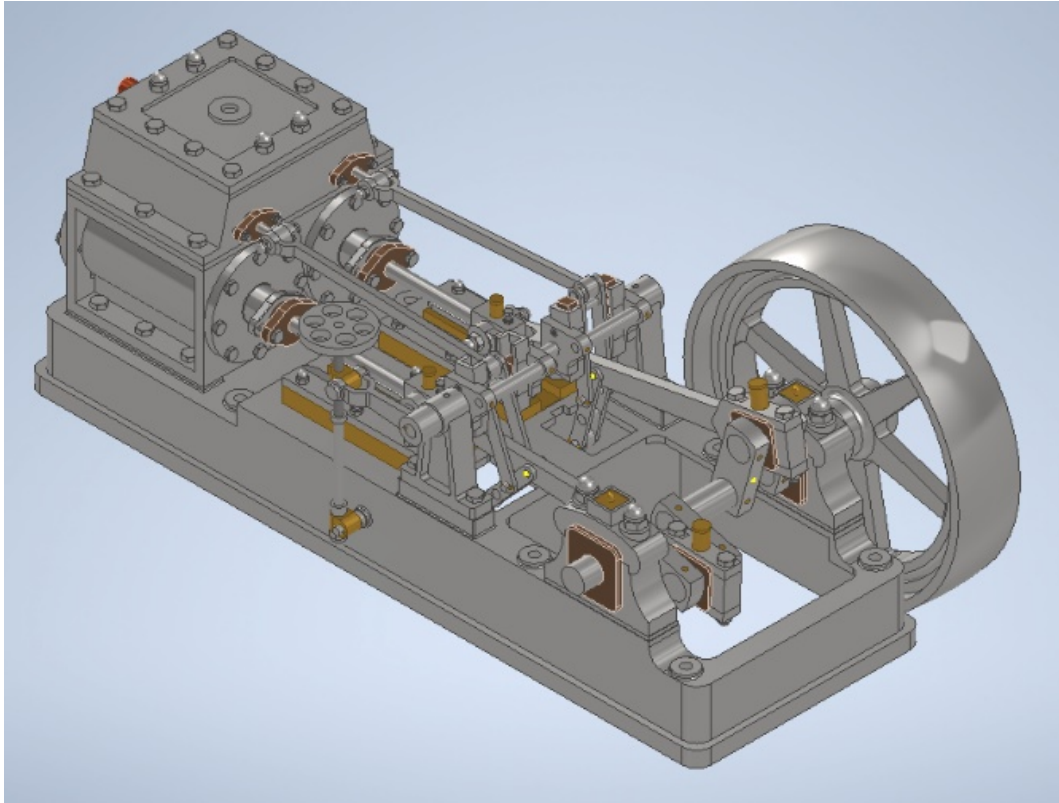


Ilustración 136. Perspectiva axonométrica del ensamblaje final del conjunto (vista frontal).

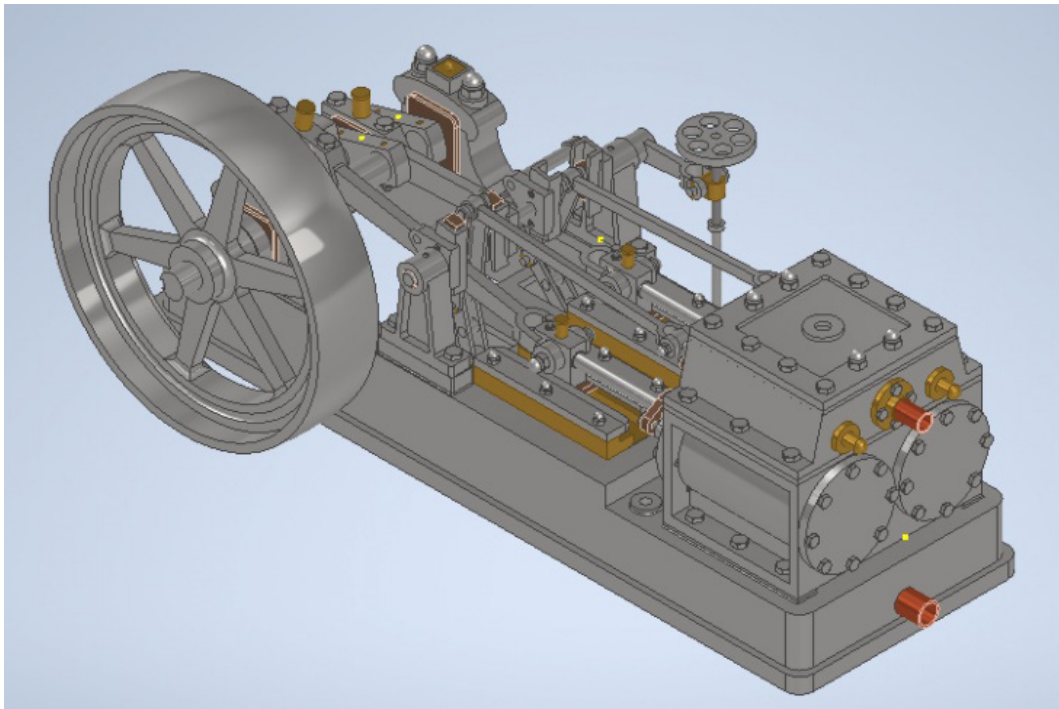


Ilustración 137. Perspectiva axonométrica del ensamblaje final del conjunto (vista trasera).

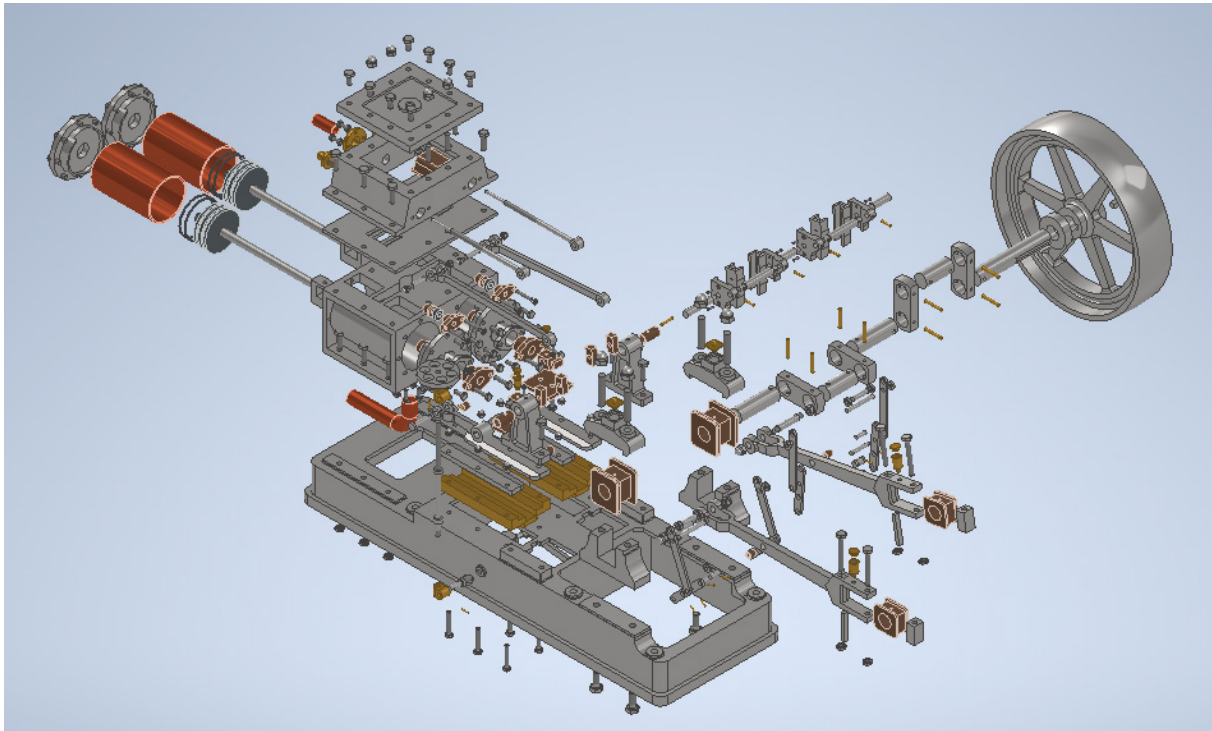


Ilustración 138. Perspectiva axonométrica estallada (vista frontal).

### 3.1.3. Descripción del funcionamiento

Esta invención posee un volumen de piezas elevado, por lo que se procede a describir el funcionamiento apoyándose en las marcas de las piezas presentes en los planos de conjunto, con el fin de facilitar la comprensión del mismo.

En primer lugar, la bancada (1) sirve como apoyo de prácticamente todas las piezas y es la encargada de dar estabilidad y fijación a su conjunto. El bloque de cilindros (16) se apoya en su parte anterior mediante seis pernos (28) con sus respectivas tuercas (29). El bloque es cerrado en sus laterales mediante la cubierta delantera del cilindro (40) y la cubierta trasera (14), debiendo estar herméticamente cerradas mediante 32 pernos (100) para evitar que se produzcan fugas de vapor. A su vez, la cubierta trasera tiene en su interior un tope (98), un casquillo (97) y un pasamuros del pistón (15) que se fija al cofre con dos pernos (100). Estos tres elementos tienen como función guiar al pistón durante su desplazamiento.

Los pistones se deslizan en el interior del bloque de cilindros apoyándose en dos camisas interiores (39), que también son utilizadas para guiar el vapor a través del bloque. En la parte superior del bloque se coloca una junta entre el cofre y el bloque (17), que posee una serie de muecas para realizar el juego de entrada y salida de vapor con las válvulas correderas. Apoyado en la junta se encuentra el cofre de válvulas (18), que a su vez es cerrado por la cubierta del cofre (19). El bloque, la junta, el cofre y la cubierta están unidos entre sí por catorce pernos (46) y cuatro tuercas (50).

En el interior del cofre se deslizan dos válvulas correderas compuestas por el eje de la propia válvula corredera (21) y la guía de la corredera de la válvula Joy (48) unidas por dos tuercas (47). En la parte trasera del cofre se encuentran dos tapas del extremo de la válvula corredera (45) y en la parte delantera dos topes (99), dos casquillos (96) y dos pasamuros (20) unidos al cofre de válvulas por cuatro pernos (103) y cuatro tuercas (53). El vapor entra al cofre mediante un tubo (44) sujeto por un soporte (43) con cuatro pernos (42), y sale de la máquina por el tubo de salida (41) sujeto también por un soporte (88) mediante seis pernos de la misma medida que los anteriores.

Cada pistón está compuesto individualmente en su parte delantera por la varilla (23), el pistón (38), dos juntas tóricas (49) y una tuerca que sujeta la varilla (29). En la parte trasera, la pieza es más compleja puesto que se encuentra el nexo de unión con la válvula Joy. Asimismo, se aloja en su interior una cruceta (55), la cuña de la cruceta (54) que se fija mediante un perno (52) y su respectiva tuerca (53). La cruceta se lubrica por un engrasador (57) que se puede abrir o cerrar gracias a un tapón (58). En la parte baja del pistón se encuentra la base de la cruceta (56) sujeta por dos pernos (100), que se desliza por la guía corredera de la cruceta (36) y no se desvía de su trayectoria gracias a dos topes (102). Estos dos topes se unen a la guía, que a su vez se une a la bancada, mediante tres pernos por guía (92) y se coronan con sus respectivas tuercas (51).

El pistón es sujetado anteriormente por un vástago (82) en el pie de la biela (6) que se atornilla en sus extremos con dos tuercas (50). La biela forma parte de la válvula Joy y, en su parte central, se encuentra un orificio con un casquillo (30) en su interior en el que va enganchada la palanca inferior de la válvula Joy. Esta palanca está formada por un pasador (31) que se introduce en el orificio antes descrito, un par de pletinas (32), una barra de enlace (33) y otro pasador inferior (80) que no se escapa de su posición gracias a dos pasadores en sus extremos (79). La palanca inferior se encuentra unida a una varilla excéntrica (35) situada en la parte baja de la máquina. Dicha varilla se une en un extremo a dicha palanca con un casquillo (34) de 5 mm, y en el otro extremo, a un soporte (90) con otro casquillo (37), que no se escapa gracias a un pasador (89) que posee el soporte en sus extremos. Asimismo, el soporte se fija a la bancada mediante dos pernos (93).

En cambio, la palanca superior de la válvula Joy se une a la inferior mediante un pasador que sujeta mediante dos pasadores (81) las dos pletinas (78) que la componen. Para unirse a la tuerca corredera (87) es necesario que sea atravesada por otro pasador (77) y dos arandelas (84). En su parte superior, se cierra de nuevo por un tercer pasador (86) y dos nuevas arandelas (85). Este último pasador es introducido en un eje de la válvula Joy (22) que presenta en el extremo opuesto un vástago (83) para unirse con el eje de la válvula corredera antes descrito. Ambos son rematados con dos tuercas (51).

Por otro lado, el enlace de expansión es el conjunto de piezas necesario para condicionar el movimiento a nuestra conveniencia y, es por esto, que presenta un número de piezas elevado. En primer lugar, el enlace está sujeto por un soporte (7) con un rodamiento en su interior (94). El enlace está compuesto por once piezas diferentes, compuesto (de izquierda a derecha) por un eje de la carcasa (67), el propio enlace de expansión (68) que servirá de deslizadera para la tuerca corredera, una barra de enlace entre carcasas (69), las carcasas derecha e izquierda (70 y 71 respectivamente), ocho pernos para unir las carcasas con los enlaces (72), un pasador en cada carcasa (101) y el eje derecho de la carcasa del enlace de expansión (73) que está introducido en el enlace de elevación (8) y fijado en su posición por un

pasador (74). Este enlace de elevación tiene un pasador (12) fijado con otro pasador (75) que es introducido en el cojinete del husillo de revolución (10) y que, a su vez, sostiene al eje del husillo (11) que se encuentra coronado por una maneta (13) y en su parte baja, se une a un eje oscilante inferior del husillo (9) mediante otro cojinete igual al anterior y sujetados por un pasador (91). El eje oscilante en su extremo es roscado y se sujeta a la bancada mediante una tuerca (29).

Continuando con la biela, se observan en su parte trasera dos pernos (28) con dos tuercas (29) que sostienen al pasador de la cabeza de la biela (76). En la parte superior se encuentra el engrasador de la biela (26) y tapón de dicho engrasador (25) que son los encargados en lubricar el cojinete de la biela (27) que está en continuo contacto con el cigüeñal.

El cigüeñal se compone (de izquierda a derecha) por el soporte del volante (59), la guía del volante (60), el tope del volante (66), el propio volante (24), cuatro cachetes (62), un muñón central (65), dos codos de la biela (61), ocho pasadores encargados de fijar los cachetes con los muñones o codos (64) y un muñón exterior (63). Cabe destacar que los codos de la biela y, por tanto, los cachetes, están desfasados  $90^\circ$ , lo cual produce un movimiento alternativo entre las dos bielas y válvulas correderas que alterará el sentido de las presiones que habrá de estudiarse en los apartados posteriores.

Por último, el cigüeñal descansa sobre dos soportes situados a los extremos de la bancada, y cada soporte está compuesto por un cojinete (4) en el que se introduce el cigüeñal, unos alojamientos superior e inferior del cojinete (2 y 3 respectivamente) que encierran al cojinete y son unidos por dos pernos (95) rematados por dos tuercas (50). El alojamiento superior posee un orificio para verter aceite que es cerrado por una tapa (5).

Todas estas piezas en su conjunto, y en especial con la válvula Joy, son las encargadas de convertir un movimiento lineal producido por los cilindros a través del bloque, en un movimiento circular, producido en el volante.

### **3.2. INGENIERÍA ASISTIDA POR ORDENADOR: ANÁLISIS ESTÁTICO POR ELEMENTOS FINITOS**

En esta sección se expone el análisis estático de la invención analizando una situación crítica de funcionamiento para el sistema. El objetivo principal es calcular las tensiones de von Mises, los desplazamientos, las deformaciones equivalentes y el coeficiente de seguridad. Para llevar a cabo este análisis, se procederá a seguir una serie de pasos, que incluyen la selección de materiales, la definición de las restricciones de movimiento, la aplicación de fuerzas y la generación de un mallado para la obtención de resultados.

Para comprobar eficientemente la resistencia de la máquina es necesario estudiar a fondo los puntos críticos de la misma, y si no falla en ninguno de esos puntos, se puede confirmar su correcto funcionamiento. Los puntos críticos serán cinco: el primero con el volante bloqueado, y los cuatro restantes en los puntos muertos superiores e inferiores para cada cilindro.

Dado que no se tienen datos sobre las presiones a las que trabaja la máquina, es esencial dar con una presión óptima de funcionamiento en la que opere correctamente. Para hallar esta presión se ha de seguir un procedimiento en cualquier punto crítico establecido previamente, eligiéndose en este caso el pistón izquierdo en su punto muerto superior y el volante bloqueado. Seguidamente, se ha de asignar una presión en los pistones lo suficientemente elevada para que la máquina falle, es decir, que se obtenga un coeficiente de seguridad inferior a 1, y así poder determinar las partes que sufren mayores esfuerzos para refinar la malla con el objetivo de obtener mejores resultados en dichas zonas. Una vez realizado este paso, se sigue un proceso iterativo en el que se va cambiando el valor de presión en los cilindros hasta que se tenga como resultado un valor del factor de seguridad entre 2 y 4, considerando este rango de valores como óptimo. Los resultados obtenidos en las diferentes simulaciones se pueden encontrar a continuación (Tabla 1).

Presión (MPa)	Coficiente de seguridad
9,00	0,94
8,50	0,99
8,00	1,05
7,00	1,21
5,50	1,53
4,50	1,87
3,50	2,41
2,70	3,12
2,00	4,22

Tabla 1. Propiedades mecánicas de los materiales a estudiar.

A partir de los datos de la Tabla 1, se ha elegido una presión óptima de trabajo de 2,7 MPa, es decir, 27 bar.

### 3.2.1. Selección de materiales

La máquina dispone de siete materiales diferentes, con comportamientos puramente isótropos: acero inoxidable, acero dulce, bronce fundido, caucho, cobre, hierro fundido y latón. Autodesk Inventor Professional proporciona una amplia biblioteca de materiales que incorporan diferentes valores como propiedades mecánicas, térmicas y límites elásticos y de resistencia (Tabla 2).

Material	Módulo de Young (MPa)	Coficiente de Poisson	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Tensión de fluencia (MPa)
Acero inoxidable	193.000	0,30	8.000	540
Acero dulce	220.000	0,28	7.850	345
Bronce fundido	109.600	0,34	8.870	275
Caucho	3.000	0,49	1.250	6,5
Cobre	117.500	0,34	8.940	210
Hierro fundido	120.500	0,30	7.150	884
Latón	109.600	0,33	8.470	275

Tabla 2. Propiedades mecánicas de los materiales a estudiar.

### 3.2.2. Condiciones de contorno

En este apartado se disponen las condiciones que van a ser prácticamente idénticas en cada análisis. Mediante la utilización de una restricción fija, se empotra la bancada al suelo en todos los análisis. En el primero de todos, es necesario también

fijar el volante, ya que correspondería con simular la puesta en marcha de la máquina, situación más desfavorable dado que una vez está en funcionamiento posee una cantidad de movimiento y una inercia que implica que se necesite menos trabajo (Ilustración 139).

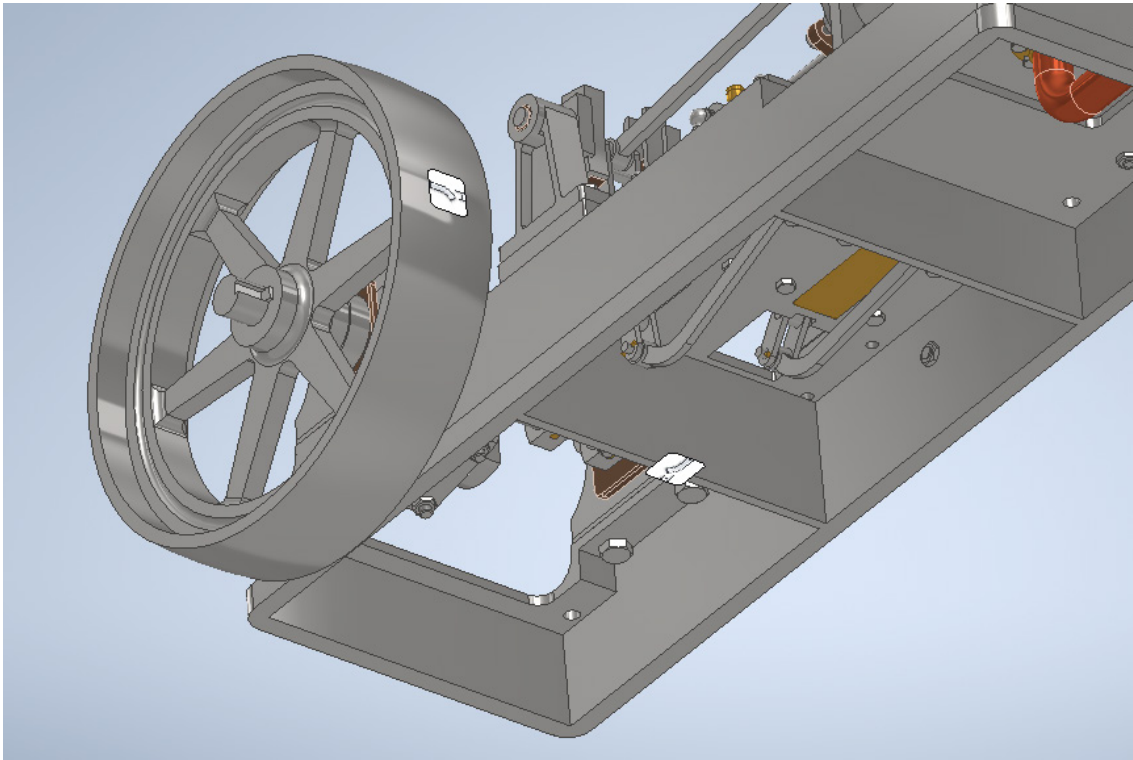


Ilustración 139. Detalle de las restricciones fijas en la bancada y el volante.

### 3.2.3. Posiciones críticas

Tal y como se ha expuesto anteriormente se van a estudiar cinco posiciones críticas: la primera con el volante bloqueado (Ilustración 139), y las cuatro restantes en cada uno de los puntos muertos inferiores (PMI) y superiores (PMS) de cada cilindro (Ilustraciones 140 y 141). Cabe destacar que al estar los cachetes del cigüeñal desfasados  $90^\circ$ , cuando uno de los cilindros se encuentra en su punto muerto superior o inferior, el otro cilindro no se encuentra en ninguna posición crítica. Más adelante se hablará también sobre el movimiento de los pistones en sus posiciones críticas, dado que los cilindros no siempre están deslizándose en sentido contrario.

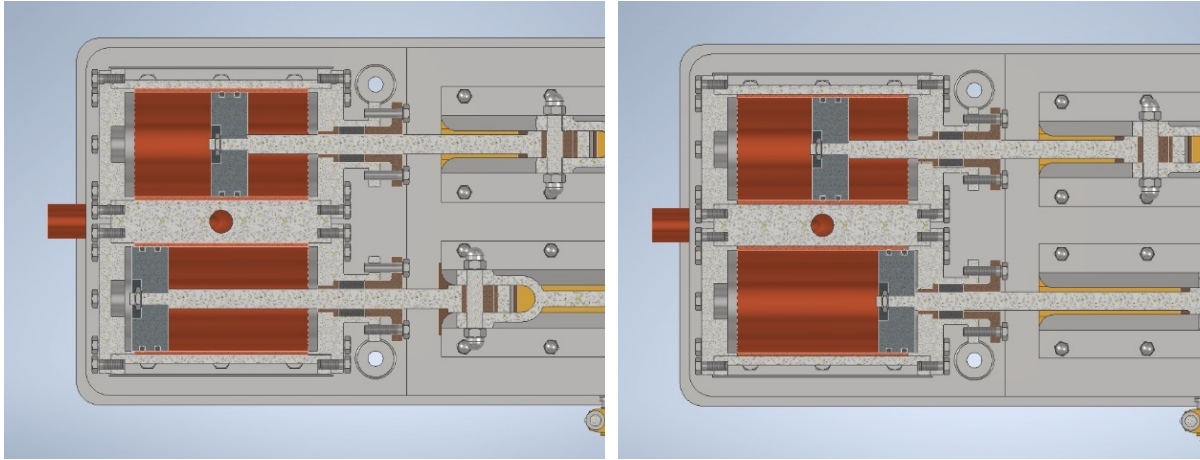


Ilustración 140. Pistón izquierdo en PMS y PMI (Posiciones críticas 2 y 3).

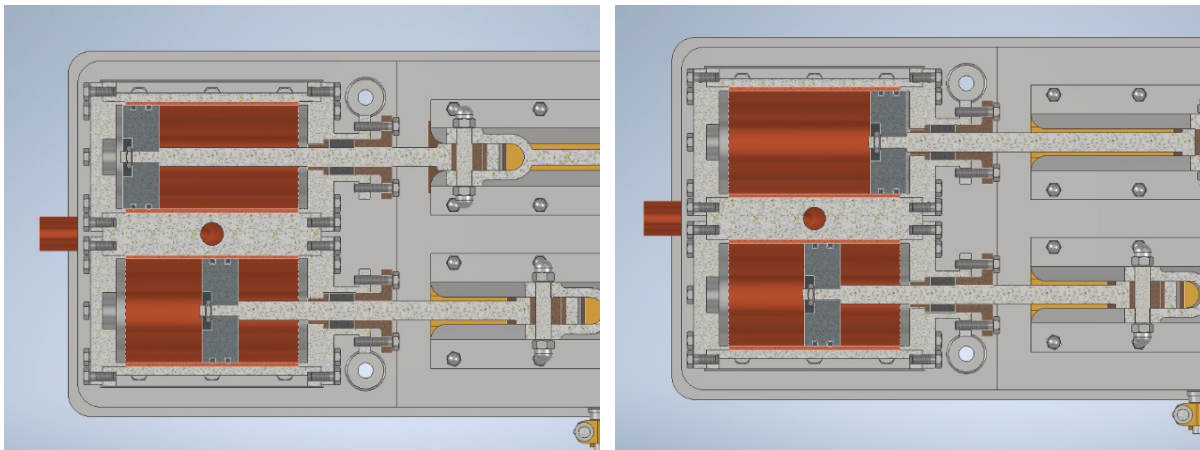
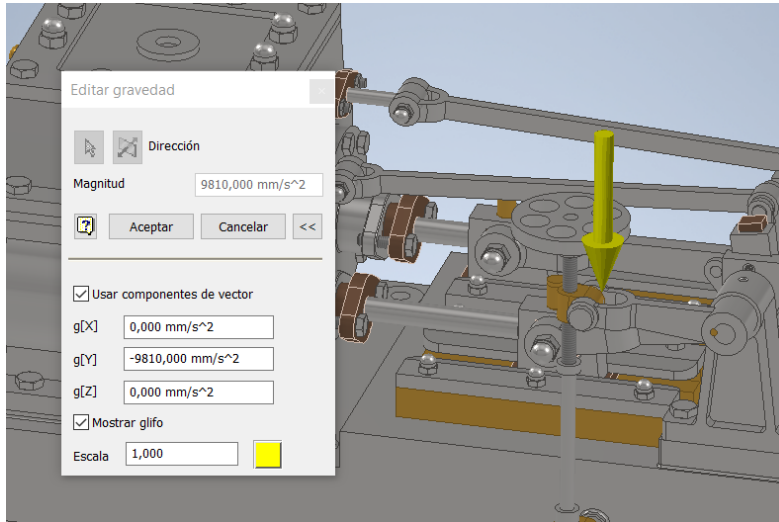


Ilustración 141. Pistón derecho en PMS y PMI (Posiciones críticas 4 y 5).

### 3.2.4. *Envolvente de esfuerzos*

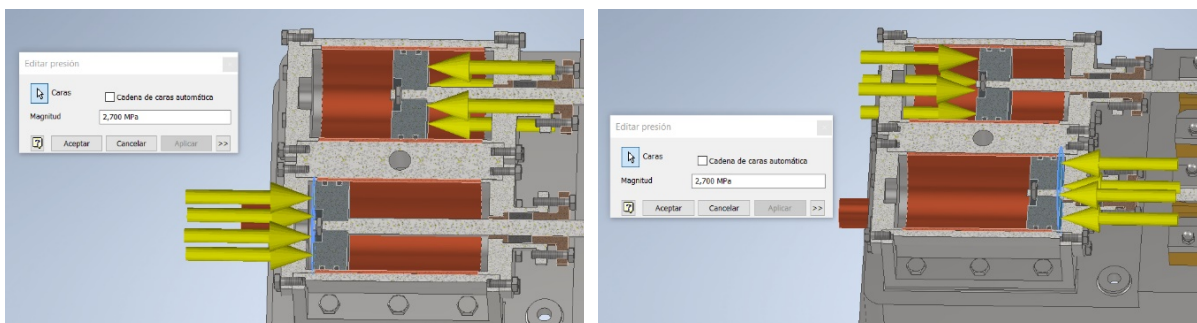
Para cada análisis es crucial definir correctamente las fuerzas y sentidos que se tienen. En primer lugar, se define la fuerza gravitacional de la máquina automáticamente clicando en la pestaña 'Gravedad' en el apartado 'Cargas' de la barra de herramientas (Ilustración 28), que posteriormente se deberá de seleccionar la posición que se desea y el sentido de la misma, puesto que Inventor Professional reconoce automáticamente el centroide de la invención y su masa (Ilustración 142).



**Ilustración 142. Pestaña generadora de la fuerza gravitacional.**

Una vez definida esta fuerza, se procede a determinar la fuerza o presión en los pistones. Se ha supuesto que el sentido natural de la máquina se produce cuando el volante gira en sentido horario, ya que si lo hiciera en sentido antihorario las direcciones de las presiones en cada punto crítico variarían. Como se ha explicado con anterioridad, ha sido necesario un proceso iterativo para determinar la presión óptima de funcionamiento debido a que no se conoce ningún dato de presión. Esta presión óptima de trabajo (2,7 MPa) se ha de imponer en la cara del pistón que se precise, y esto depende de la posición en la que se encuentre y del sentido que lleve.

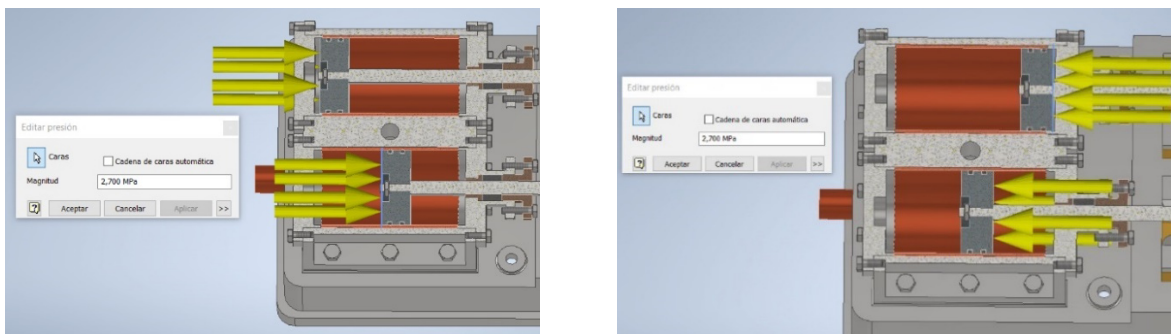
Cuando se habla sobre los puntos muertos superior e inferior del cilindro izquierdo, se puede afirmar que ambos cilindros tienen un sentido enfrentado, por consiguiente, se ha de colocar la presión en las caras opuestas (Ilustración 143).



**Ilustración 143. Posición y dirección de las fuerzas en los PMS y PMI del cilindro izquierdo.**

Sin embargo, referido al pistón derecho y, debido al desfase del cigüeñal cuando se halla en el punto muerto superior y retrocede, el pistón izquierdo también está retrocediendo hacia su punto muerto inferior, es decir, llevan la misma dirección y sentido.

Ocurre lo mismo cuando el pistón derecho llega a su punto muerto inferior, éste comienza su recorrido hacia el punto muerto superior y su homólogo izquierdo igualmente busca su punto muerto superior, es decir, coinciden en dirección y sentido (Ilustración 144).



**Ilustración 144. Posición y dirección de las fuerzas en los PMS y PMI del cilindro derecho.**

### 3.2.5. Mallado

El paso último para la realización de los distintos análisis sería la discretización o mallado, que se deberá de ajustar lo máximo posible a la geometría de la que se dispone.

Para todos los casos, se seleccionan los datos que aparecen en la ilustración 145 (izquierda), dando como resultado el mallado que se puede observar en la ilustración 145 (derecha).

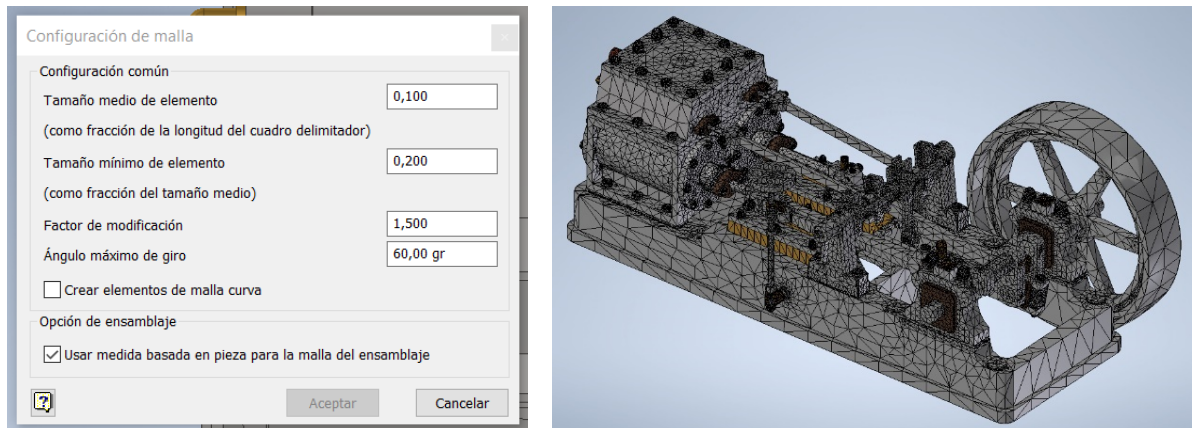


Ilustración 145. Pestaña de configuración de malla y mallado global.

### 3.2.6. Análisis modal y estático

#### 3.2.6.1. Posición crítica 1: Volante bloqueado

En primer lugar, se realiza un análisis modal para determinar las ocho primeras frecuencias naturales ya que, si alguna de ellas fuera nula, no tendría sentido hacer un análisis estático, puesto que se trataría de un mecanismo. Se puede observar fácilmente que ninguna de ellas es nula y, por tanto, procede realizar un análisis estático lineal (Ilustración 146).

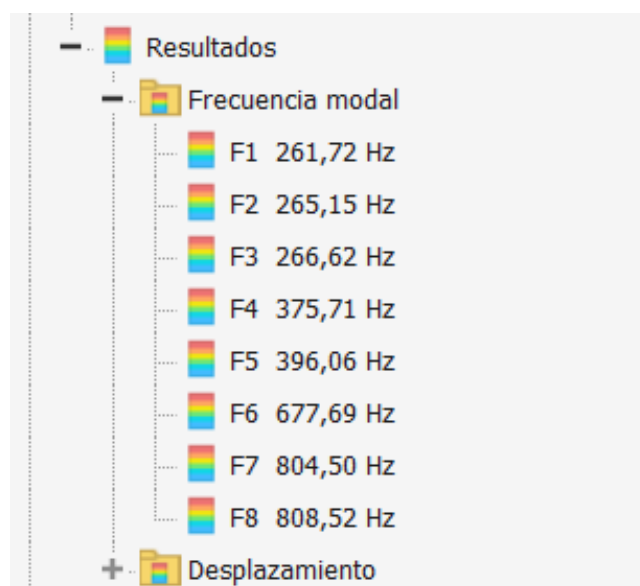


Ilustración 146. Frecuencias modales de la posición crítica 1.

Al ejecutarse el análisis estático de la posición crítica 1 se obtiene la distribución de tensiones de von Mises (Ilustración 147).

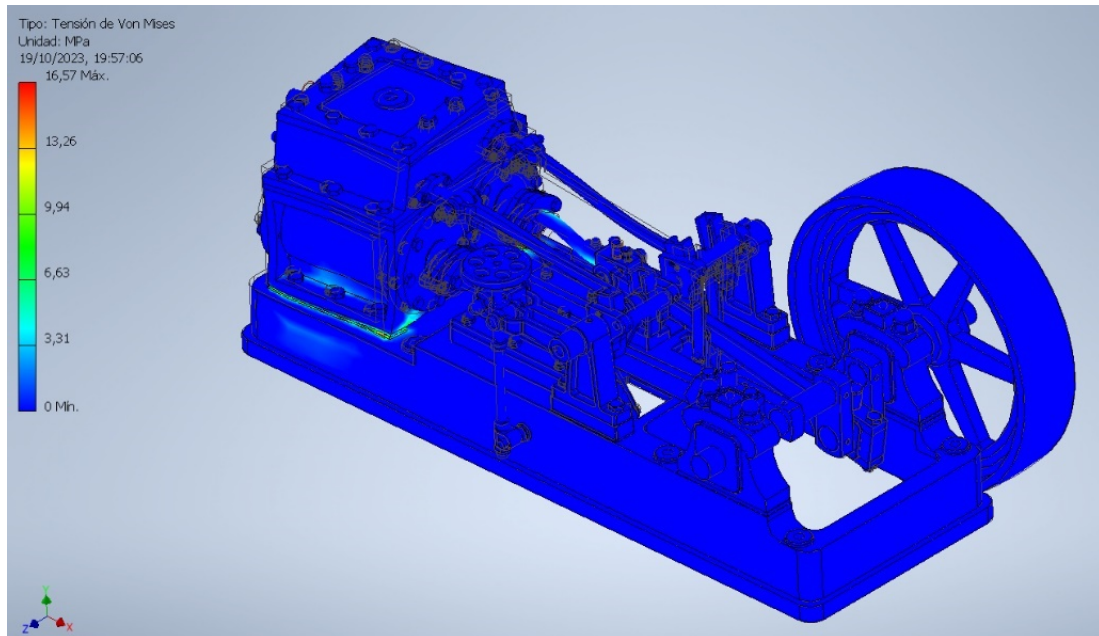


Ilustración 147. Distribución de las tensiones de von Mises.

En dicha ilustración, puede apreciarse que prácticamente la totalidad de la máquina se encuentra en color azul, es decir, con un valor muy bajo de la tensión. Asimismo, se puede ver que la tensión máxima es de 16,57 MPa, estando localizada en uno de los apoyos del bloque de cilindros (Ilustración 148).

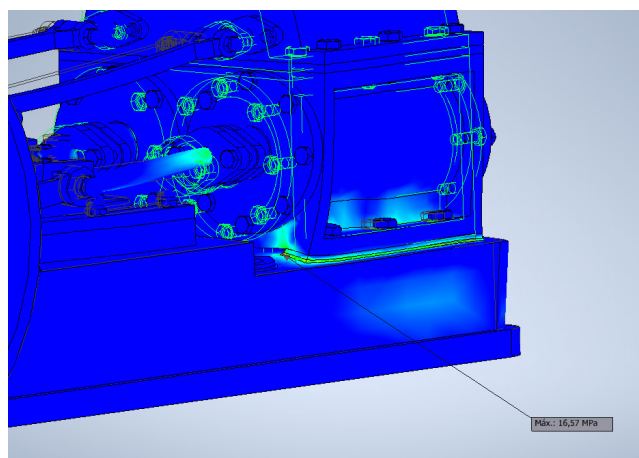


Ilustración 148. Localización de la tensión máxima de von Mises.

En lo relativo a los desplazamientos, el valor máximo se localiza en la esquina anterior del bloque, presentando un valor despreciable de 0,004461 mm (Ilustración 149).

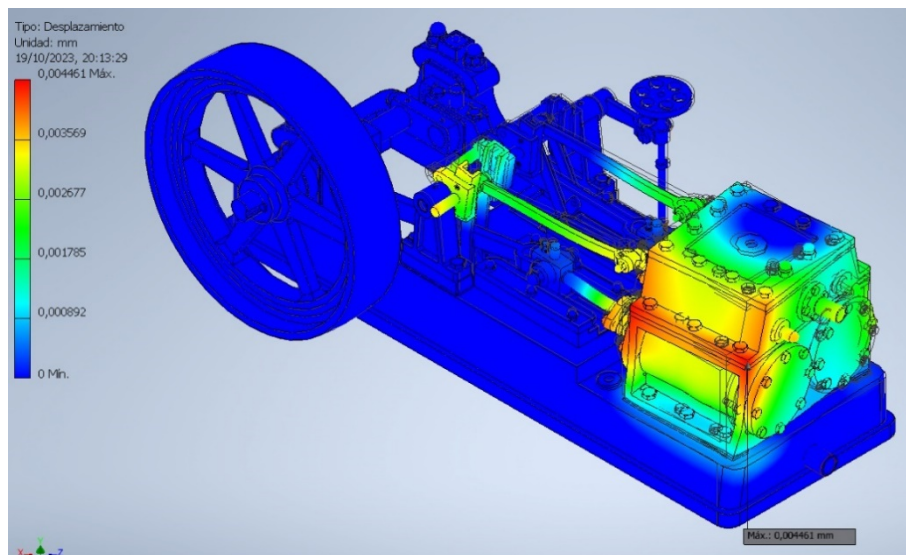


Ilustración 149. Distribución de desplazamiento y localización del valor máximo.

Por otro lado, la deformación equivalente (Ilustración 150) se localiza en el mismo punto de desplazamiento máximo, con un valor despreciable del 0,02336% de la longitud del elemento.

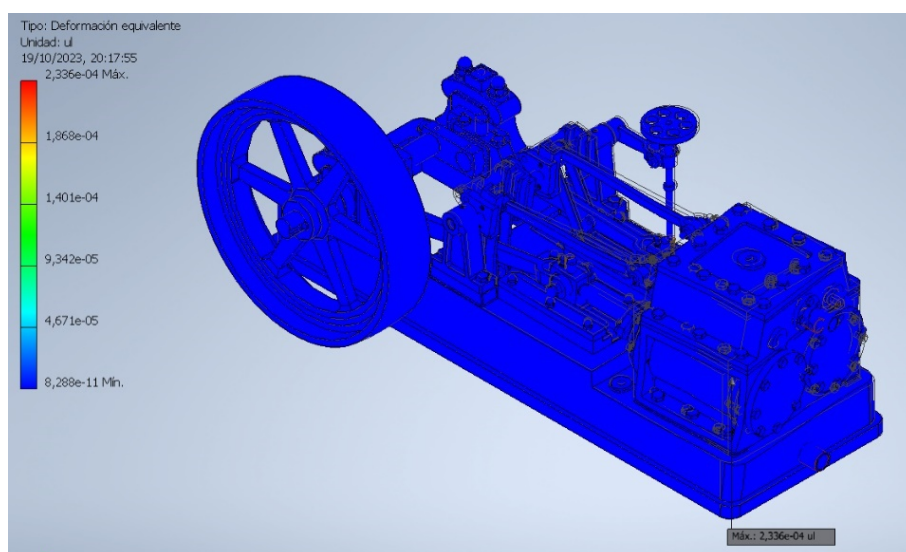


Ilustración 150. Distribución de la deformación equivalente y localización del valor máximo.

Por último, el valor mínimo del coeficiente de seguridad es de 3,09, perfectamente ubicado en el rango óptimo del diseño de máquinas que se había impuesto al principio del apartado (Ilustración 151).

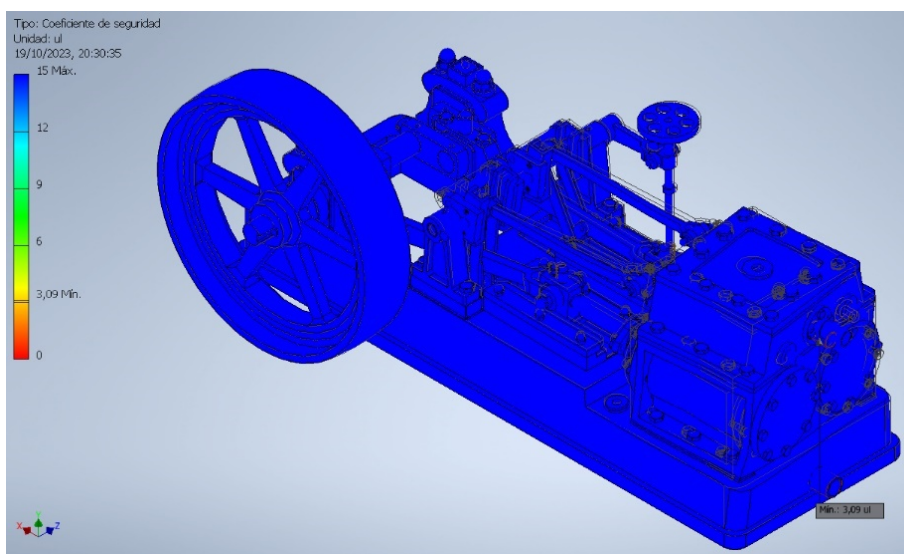


Ilustración 151. Distribución del coeficiente de seguridad y localización del valor mínimo.

### 3.2.6.2. Posición crítica 2: Pistón izquierdo en PMS

Para este análisis y los siguientes, el volante deja de estar bloqueado. Y al igual que su predecesor, se inicia realizando un análisis modal para concluir que las frecuencias son distintas de cero y no se comporta como un mecanismo (Ilustración 152).

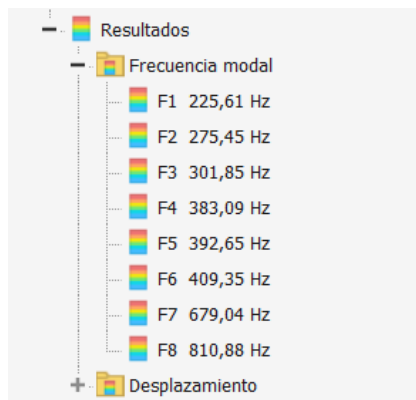


Ilustración 152. Frecuencias modales de la posición crítica 2.

Se puede proceder entonces a realizar un análisis estático, cuyos resultados se muestran a continuación. En la Ilustración 153 se muestra la distribución de la tensión de von Mises.

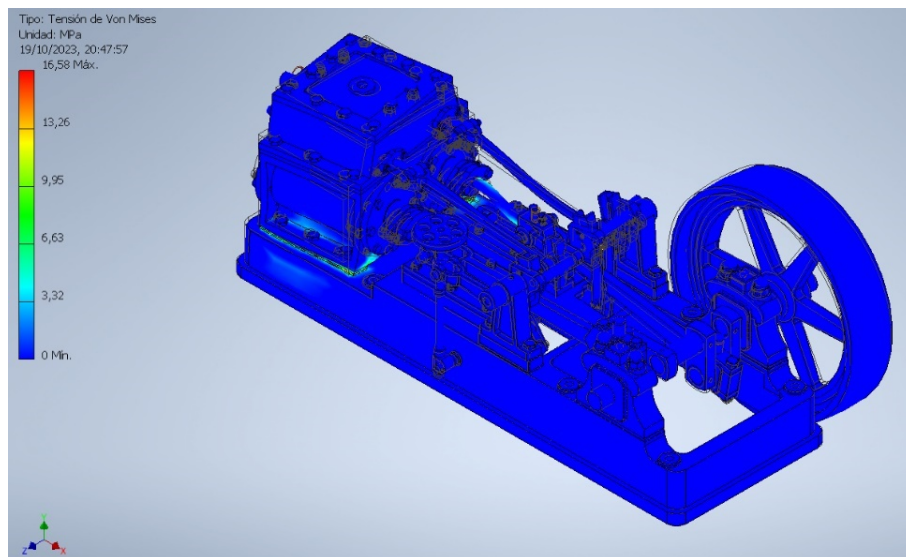


Ilustración 153. Distribución de las tensiones de von Mises.

De nuevo, se obtiene como resultado una tensión máxima de von Mises 16,58 MPa, casi igual a la de la posición crítica 1, encontrándose en la misma posición (Ilustración 154).

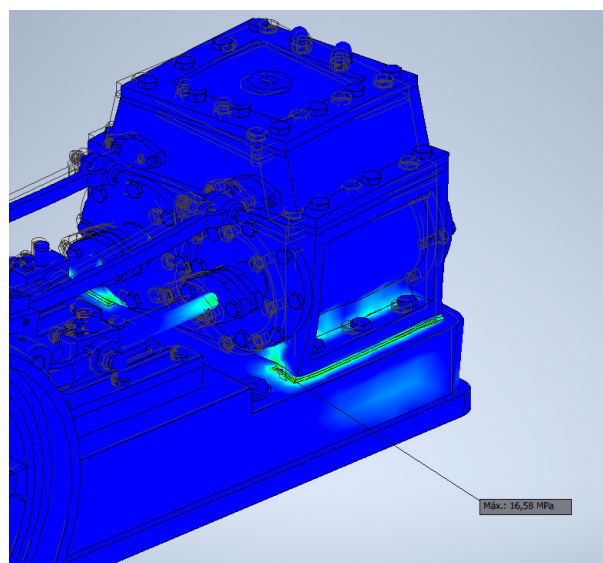


Ilustración 154. Localización del valor máximo de la tensión de von Mises.

En cuanto al desplazamiento máximo, se vuelve a localizar en la misma posición, presenta un valor despreciable de 0,004465 mm (Ilustración 155).

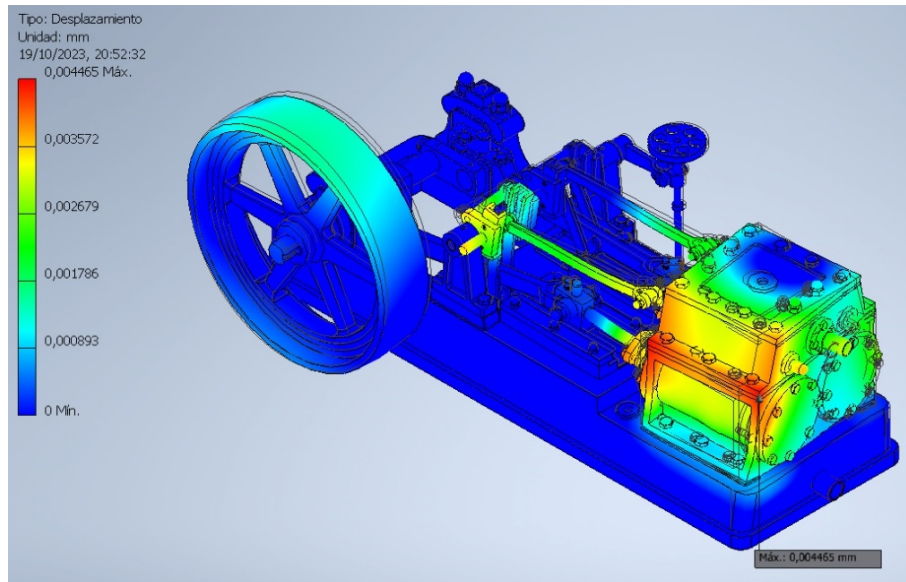


Ilustración 155. Distribución de desplazamiento y localización del valor máximo.

La deformación equivalente vuelve a ser prácticamente igual que la anterior, con un valor del 0,02237% de la longitud del elemento, ocurriendo también en la misma ubicación (Ilustración 156).

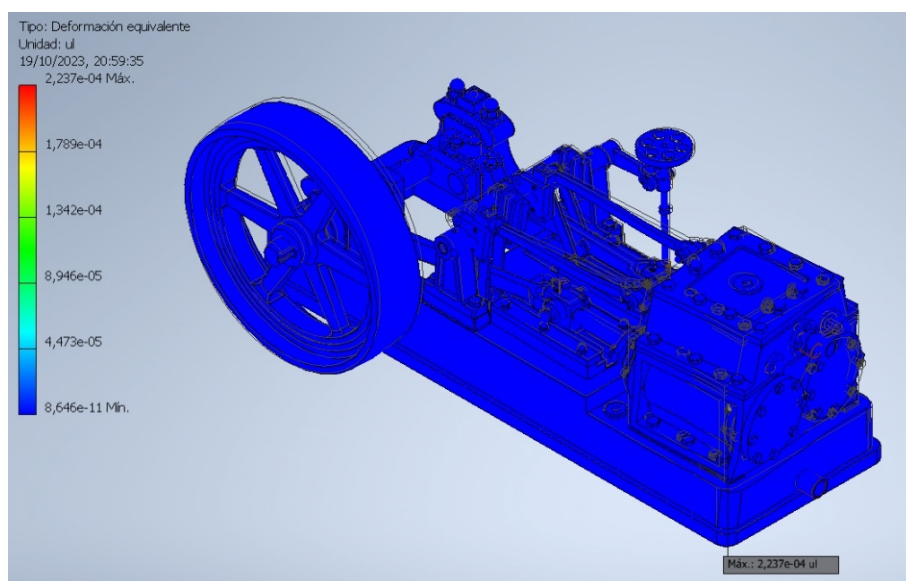


Ilustración 156. Distribución de la deformación equivalente y localización del valor máximo.

Por último, el valor mínimo del coeficiente de seguridad tampoco difiere del primer estudio, asegurando que los resultados obtenidos son correctos (Ilustración 157).

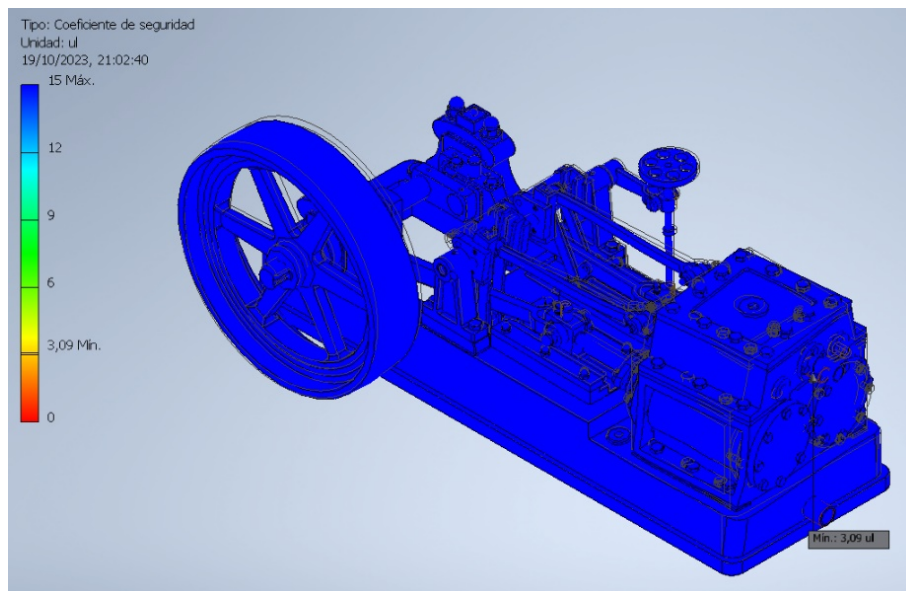


Ilustración 157. Distribución del coeficiente de seguridad y localización del valor mínimo.

### 3.2.6.3. Posición crítica 3: Pistón izquierdo en PMI

Al igual que los anteriores, se comienza el estudio de esta posición crítica llevando a cabo un análisis modal, en el cual se puede apreciar que las ocho primeras frecuencias son distintas de cero (Ilustración 158).



Ilustración 158. Frecuencias modales de la posición crítica 3.

Una vez comprobado el análisis modal, se realiza el estático. En la Ilustración 159 se muestra la distribución de la tensión de von Mises.

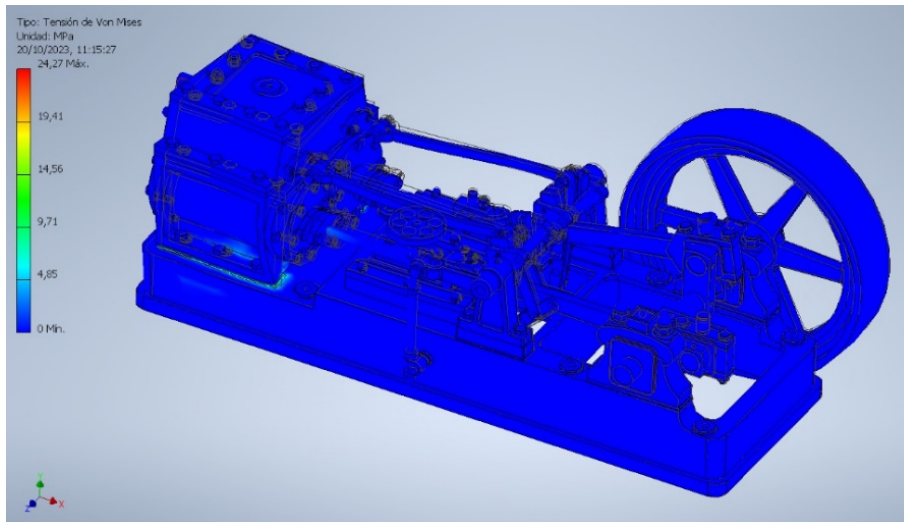


Ilustración 159. Distribución de las tensiones de von Mises.

En este caso, cuando el pistón izquierdo se encuentra en PMI, se tienen las dos presiones enfrentadas, pero en sentido contrario a sus predecesores. Debido a esto, se obtiene una tensión máxima de von Mises similar a las anteriores estudiadas, y una deformación del bloque de cilindros. La tensión máxima de 24,27 MPa se produce en el casquillo de caucho (Ilustración 160) por el que se desliza el pistón izquierdo y, aunque este material tiene un módulo de Young (3.000 MPa) bajo comparado con el acero, queda lejos de la tensión máxima.

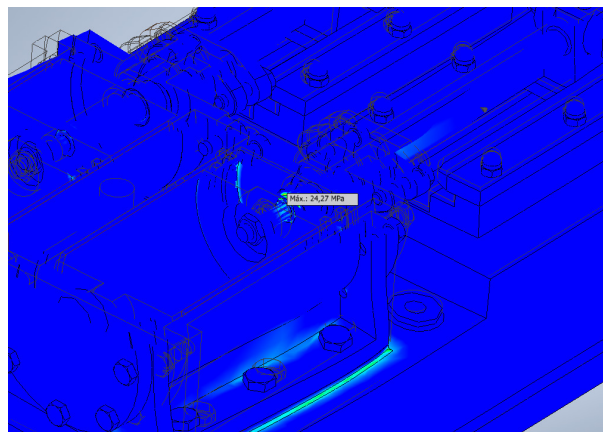


Ilustración 160. Localización de la tensión máxima de von Mises.

El desplazamiento máximo ocurre en el pasamuros del pistón izquierdo, siendo un valor despreciable de 0,004886 mm (Ilustración 161).

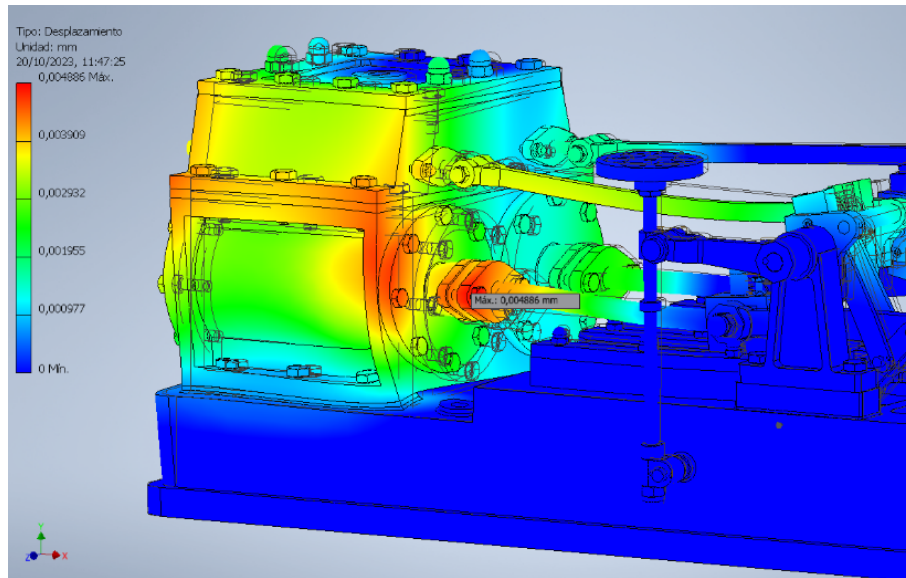


Ilustración 161. Distribución de desplazamiento y localización del valor máximo.

En cambio, la deformación máxima equivalente se produce en la cabeza del pistón izquierdo con un valor del 0,03357% de la longitud del elemento (Ilustración 162).

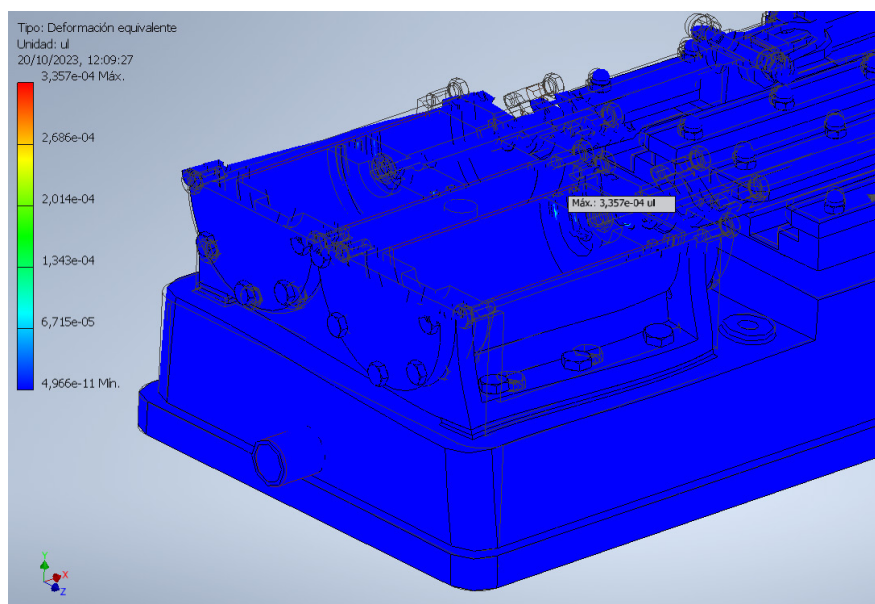


Ilustración 162. Distribución de la deformación equivalente y localización del valor máximo.

Por último, el coeficiente de seguridad también se produce en el interior del cilindro, y se puede confirmar que el valor mínimo es mayor que la unidad con un valor de 2,89 (Ilustración 163).

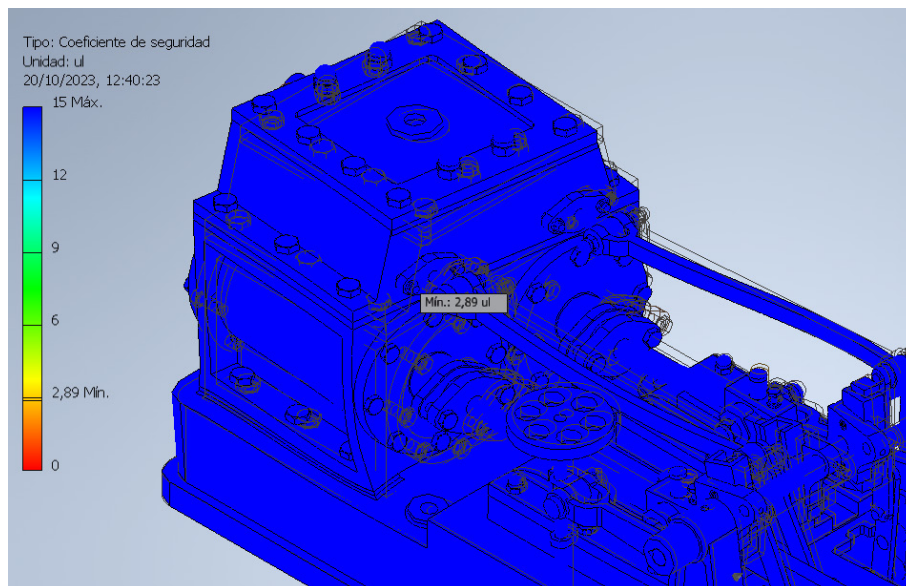


Ilustración 163. Distribución del coeficiente de seguridad y localización del valor mínimo.

#### 3.2.6.4. Posición crítica 4: Pistón derecho en PMS

Siguiendo los mismos pasos que los apartados anteriores, se realiza un análisis modal para determinar las ocho primeras frecuencias naturales (Ilustración 164).

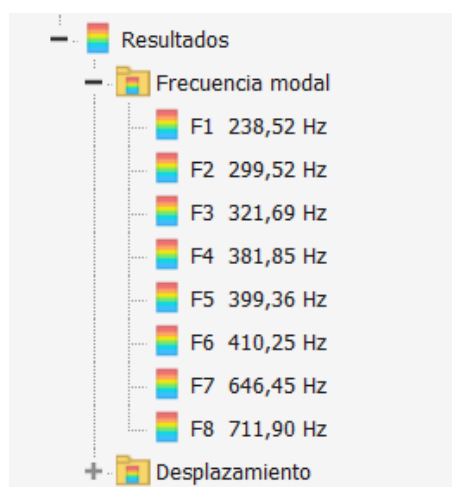
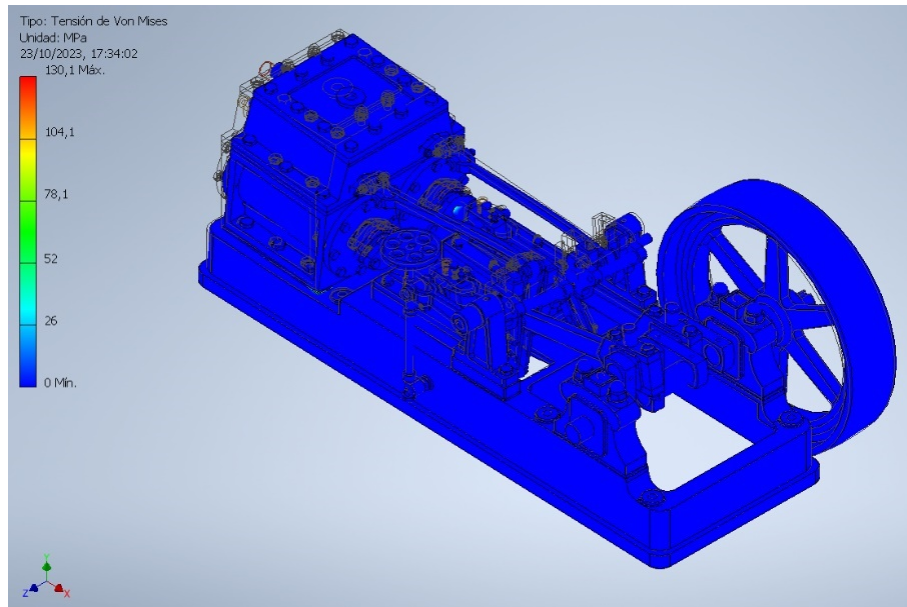


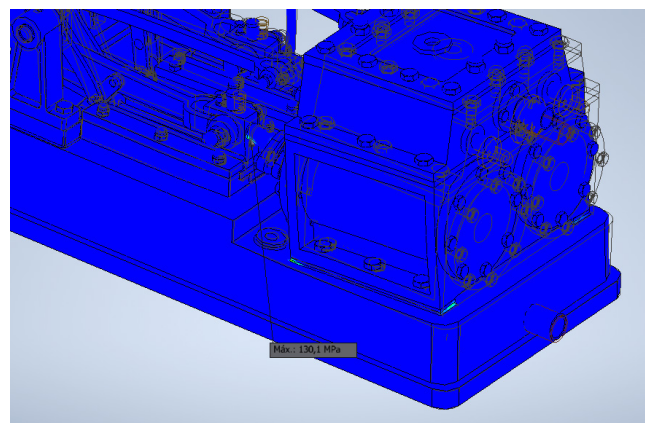
Ilustración 164. Frecuencias modales de la posición crítica 4.

La distribución de la tensión de von Mises para esta posición crítica se muestra en la Ilustración 165.



**Ilustración 165. Distribución de la tensión de von Mises.**

Como se ha visto anteriormente, al existir un desfase entre los cachetes del cigüeñal de  $90^\circ$ , las presiones de los cilindros comparten la misma dirección y sentido, dando lugar a una tensión máxima de von Mises de 130,1 MPa, que es considerablemente más elevada que la resultante en las posiciones críticas anteriores, pero muy alejada del límite elástico (Ilustración 166).



**Ilustración 166. Localización de la tensión máxima de von Mises.**

En esta posición crítica, se obtiene un desplazamiento máximo también de valor despreciable de 0,02085 mm, y localizado en el enlace de expansión (Ilustración 167).

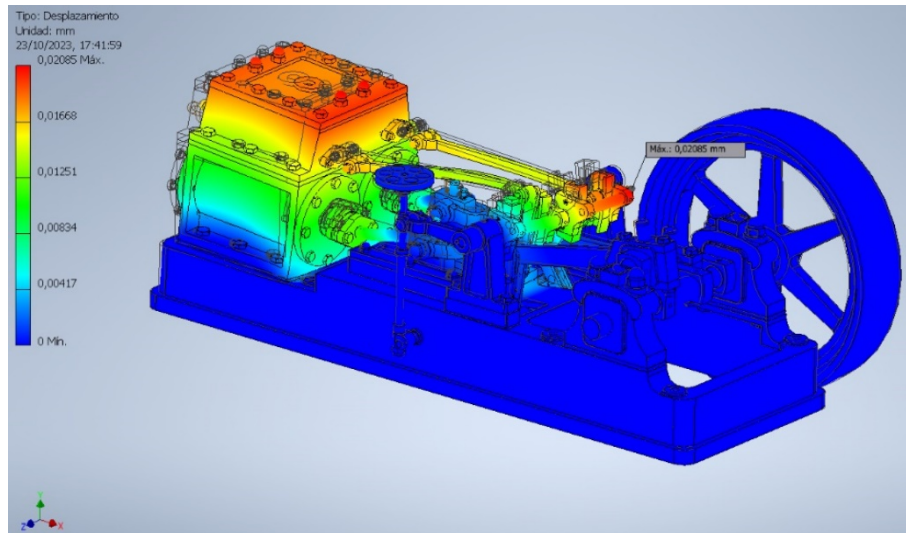


Ilustración 167. Distribución de desplazamiento y localización del valor máximo.

La distribución de la deformación equivalente se puede apreciar en la Ilustración 168, y su máximo se localiza en el pasamuros del pistón derecho con un valor del 0,07801% de la longitud del elemento.

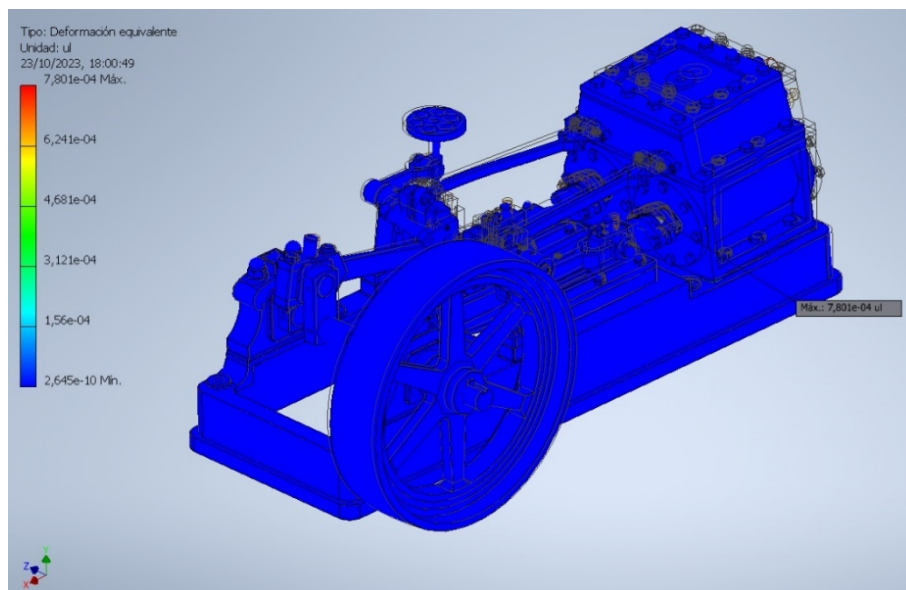


Ilustración 168. Distribución de la deformación equivalente y localización del valor máximo.

Por último, el coeficiente de seguridad mínimo es de 1,59 y vuelve a estar dentro de los límites establecidos en el rango de diseño óptimo (Ilustración 169).

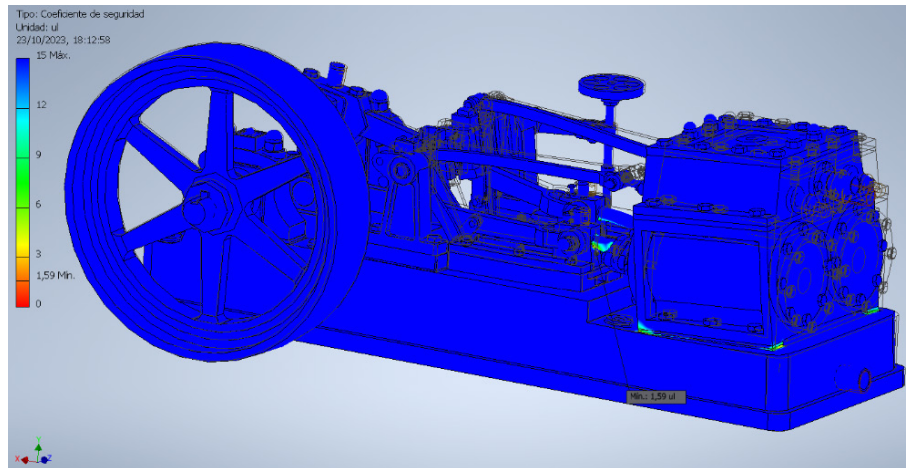


Ilustración 169. Distribución del coeficiente de seguridad y localización del valor mínimo.

### 3.2.6.5. Posición crítica 5: Pistón derecho en PMI

Dado que las posiciones críticas 4 y 5 tienen en común que las presiones de los pistones tienen el mismo sentido, ocurrirá que los resultados sean ligeramente parecidos. En primer lugar, se realiza un análisis modal comprobando que las frecuencias naturales de resonancia son distintas de cero (Ilustración 170).



Ilustración 170. Frecuencias modales de la posición crítica 5.

Una vez comprobado que ninguna frecuencia de resonancia es nula, se lleva a cabo el análisis estático lineal y se determina la distribución de la tensión de von Mises (Ilustración 171).

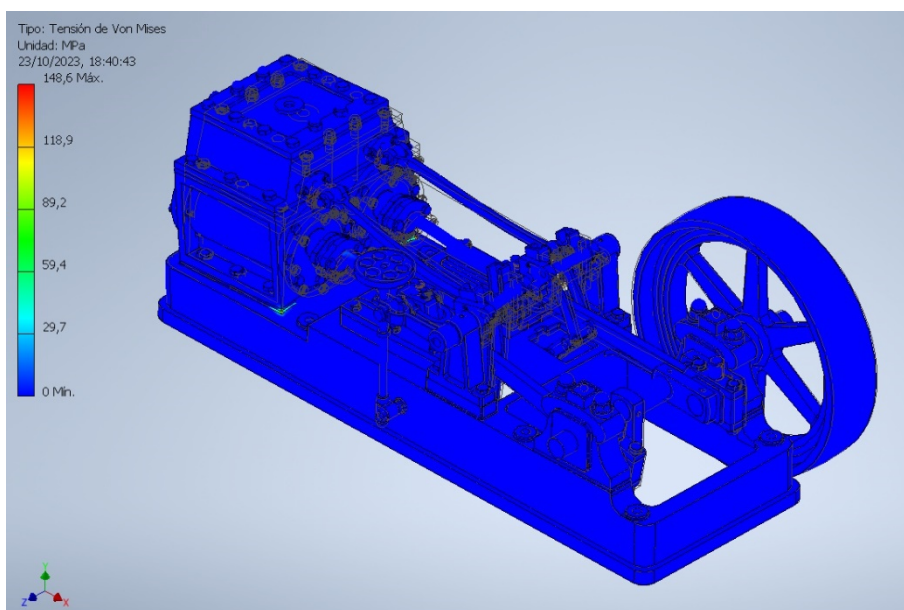


Ilustración 171. Distribución de la tensión de von Mises.

En dicho análisis se obtiene una tensión máxima de 148,6 MPa, localizada en la unión de la bancada con el cofre de válvulas (Ilustración 172).

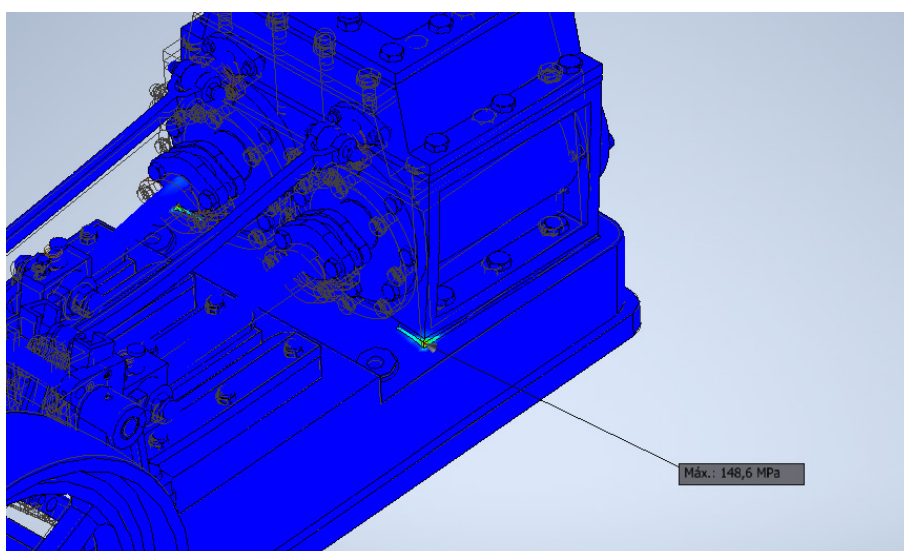


Ilustración 172. Localización de la tensión máxima de von Mises.

Asimismo, se produce un desplazamiento máximo en la parte superior del bloque de cilindros con un valor despreciable de 0,02625 mm (Ilustración 173).

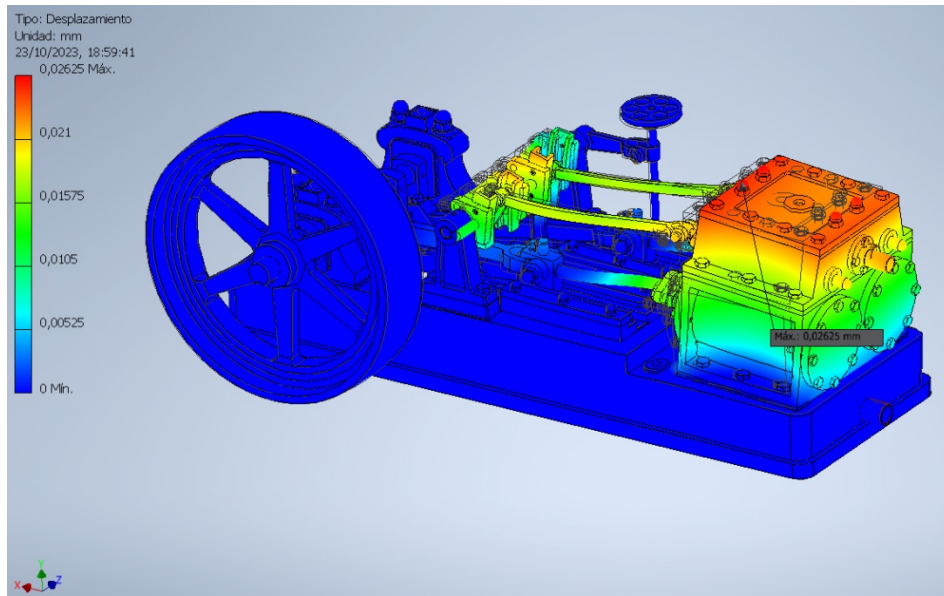


Ilustración 173. Distribución de desplazamiento y localización del valor máximo.

Por otro lado, la deformación equivalente máxima vuelve a localizarse en la unión entre el bloque de cilindros y la bancada con un valor del 0,06127% de la longitud del elemento (Ilustración 174).

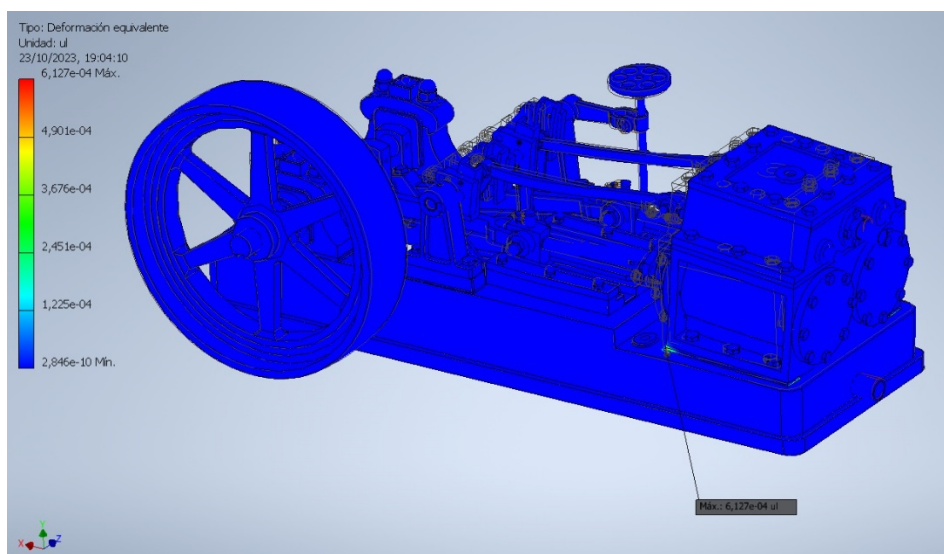
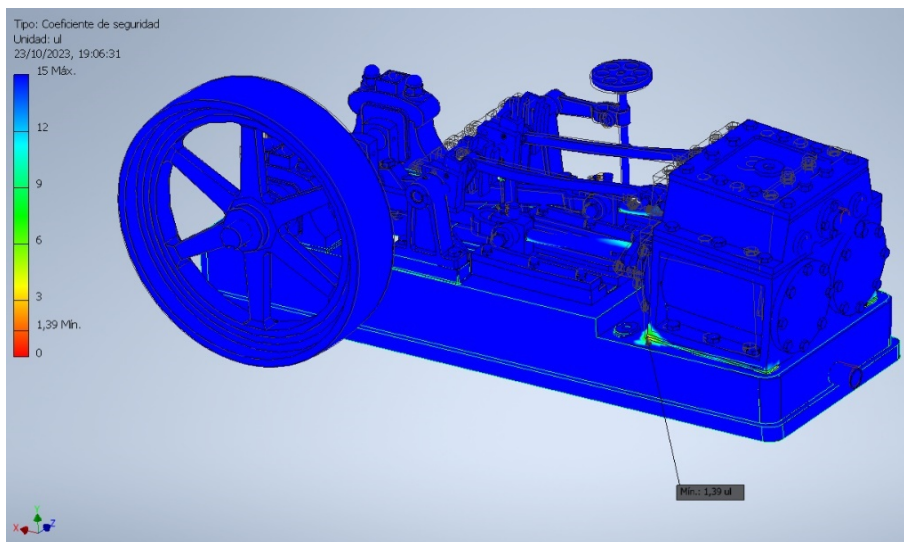


Ilustración 174. Distribución de la deformación equivalente y localización del valor máximo.

Por último, el valor mínimo del coeficiente de seguridad también se produce en la misma unión, con un valor de 1,39, volviendo a estar en el rango óptimo de diseño de la máquina (Ilustración 175).



**Ilustración 175. Distribución del coeficiente de seguridad y localización del valor mínimo.**

Así pues, y tras los análisis realizados, se puede comprobar que en ninguna posición crítica se obtiene un resultado que comprometa el funcionamiento de la máquina, lo que quiere decir que cumple correctamente su función. Sin embargo, la máquina se encuentra claramente sobredimensionada, puesto que en su época apenas se tenían conocimientos sobre resistencia de materiales.

### 3.3. RECREACIÓN VIRTUAL

El último objetivo de este TFG consiste en realizar una recreación virtual en la que se pueda apreciar y comprender el funcionamiento de la invención histórica, utilizando para ello el módulo de Autodesk Inventor Studio incluido en el software. Puesto que sólo se conoce la información relacionada con las piezas que se encuentran en los planos realizados por Julius de Waal y, no se conoce nada sobre su funcionamiento, se ha supuesto que el movimiento correcto se produce cuando el volante gira en sentido horario.

En primer lugar, es necesario definir las restricciones pertinentes para conseguir el movimiento deseado. Para esta invención se ha decidido utilizar una restricción de ángulo entre el plano XY del cigüeñal y el plano XY general (Ilustración 176), asignando un valor elevado del ángulo (p.e., 3.000 grados) para que, al definir 0 grados, como ángulo final en la recreación, la máquina gire en el sentido indicado.

Asimismo, el movimiento del cigüeñal conlleva el movimiento de los pistones y de las válvulas, gracias a la válvula de engranaje Joy, y por ello, únicamente es necesaria una única restricción para hacer que funcione correctamente.

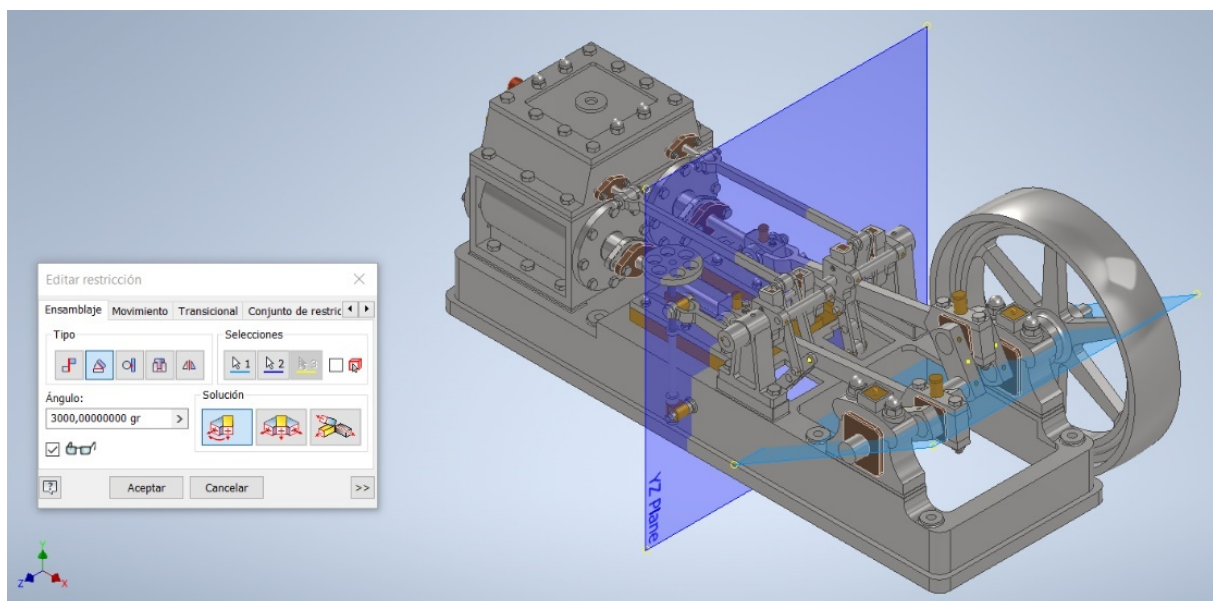


Ilustración 176. Detalle de la restricción de ángulo.

Una vez definida dicha restricción, se inicia el módulo de Inventor Studio para generar la animación. Para una comprensión del funcionamiento de la invención, se ha organizado el proceso para obtener tres vídeos independientes que tras su unión darán lugar al video final de la recreación virtual.

Por otra parte, para realizar un vídeo es necesario definir en primer lugar una cámara, lo que en la práctica consiste en crear una vista de cámara que será el plano que se aprecia en el vídeo final.

El primer vídeo, realizará un giro de 180° alrededor de la máquina y centrando su objetivo en el enlace de expansión, para que se aprecie el movimiento que posee tanto el cigüeñal como la válvula Joy. Su duración es de 30 segundos.

El segundo vídeo se centra en el cigüeñal y en el movimiento de la válvula de engranaje Joy, difuminando determinadas piezas para una mejor visualización. Su duración es de 20 segundos.

El tercer vídeo, muestra de una forma más concreta el movimiento de los pistones y la válvula de corredera dentro del bloque de cilindros, es decir, el funcionamiento interno de la máquina. Su duración es de 20 segundos.

Asimismo, se pueden animar tanto las restricciones como las difuminaciones utilizando la herramienta 'Duración de la animación' (Ilustración 177), como también seleccionar la duración del vídeo y la cámara.

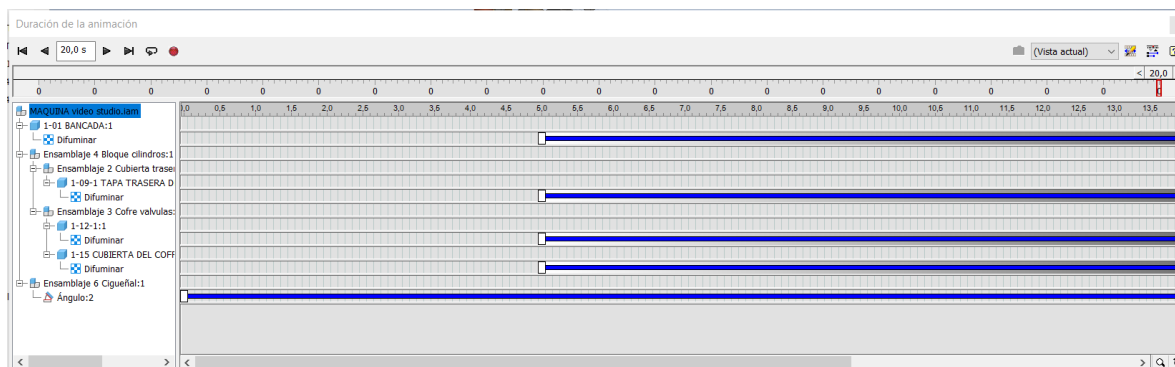


Ilustración 177. Herramienta 'Duración de la animación'.

Terminado este proceso, se han de configurar diferentes parámetros de la herramienta 'Renderizar la animación' que son necesarios para obtener una buena calidad de vídeo. Entre los más importantes se encuentran: la anchura y altura (Ilustración 178), el rango de tiempo y el formato de salida de vídeo (.AVI) (Ilustración 179), y la duración de la renderización (Ilustración 180).

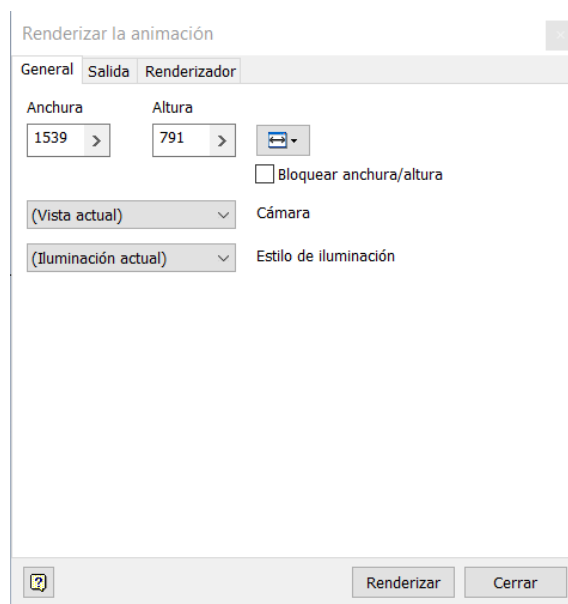


Ilustración 178. Herramienta 'Renderizar la animación'. Pestaña 'General'.

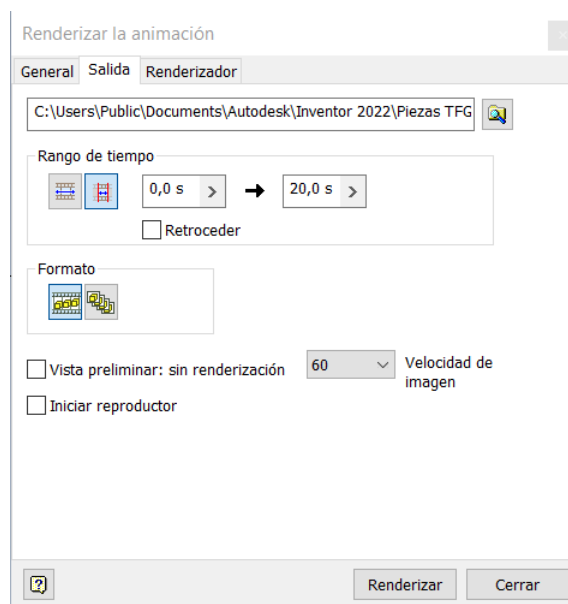


Ilustración 179. Herramienta 'Renderizar la animación'. Pestaña 'Salida'.

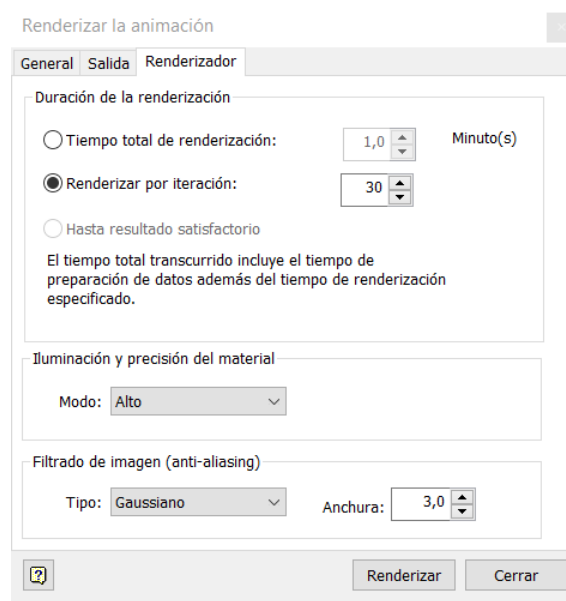


Ilustración 180. Ventanas de la herramienta 'Renderizar la animación'. Pestaña 'Renderizador'-

#### 4. CONCLUSIONES

Se exponen, a continuación, las conclusiones más notables obtenidas tras el análisis de la invención histórica.

En primer lugar, en los planos realizados de Julius de Waal, existen algunas dimensiones que no han sido especificadas ni se pueden obtener por deducción. Esta circunstancia ha implicado que, en el proceso de modelado, la intuición y la lógica se hayan convertido en herramientas fundamentales en dicho proceso, aun a pesar de que pueden existir inexactitudes o un mal funcionamiento de la máquina.

Otro inconveniente notorio, se observa a la hora de realizar el ensamblaje de la máquina. La invención posee múltiples orificios que son atravesados por un perno, ya sea porque se coloque en ese mismo orificio o porque sirva de unión con otras piezas. Sin embargo, en los planos obtenidos no aparece especificado el roscado de algunos de ellos. Por ello, si se llevara a cabo la fabricación de la misma, esta ausencia provocaría un gasto de dinero y tiempo innecesarios pues habría que retocar o realizar de nuevo algunas piezas para que pueda pasar un perno a través de ella.

Con respecto al análisis estático lineal, se han estudiado los puntos más críticos en el funcionamiento de la máquina, concluyendo que se corresponden con los puntos muertos inferior y superior de ambos pistones, y el bloqueo del volante. La tensión máxima de las cinco posiciones críticas estudiadas ocurre con el pistón derecho en el punto muerto inferior con un valor de 148,6 MPa y se localiza en la unión de la bancada con el bloque. Sin embargo, este valor queda muy alejado del límite elástico del material. Además, el desplazamiento máximo ocurre también en la misma posición crítica y tiene un valor de 0,02625 mm, que es despreciable respecto a las dimensiones de la máquina.

Por otro lado, el coeficiente de seguridad mínimo se localiza en la misma posición crítica, presentando un valor de 1,39, y aunque dicho valor no se localiza en el rango óptimo de diseño (2 a 4), no rompe. Asimismo, casi la totalidad de la máquina presenta un coeficiente de 15.

Por todo ello, se considera que la invención está claramente sobredimensionada. Ello se debe a que, en su época, los conocimientos existentes sobre ingeniería de materiales, particularmente sobre resistencia de materiales, eran muy escasos, dando lugar a que las invenciones se diseñaran con demasiado material aportando una resistencia muy por encima de su punto óptimo de funcionamiento, lo cual encarecería el diseño. A día de hoy, el conocimiento en este campo es lo suficientemente amplio para diseñar la misma máquina con un coste mínimo en fabricación.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

[1] Who was Henry Muncaster?. Disponible online:

[https://modelengineeringwebsite.com/Henry\\_Muncaster.html](https://modelengineeringwebsite.com/Henry_Muncaster.html)

[2] Muncaster, H. Model Stationary Engines - Their Design and Construction. TEE Publishing Ltd.; New edition of 1912 edition (1 diciembre 1979), 72 pp.

[3] Shih, R.H. Parametric Modeling with Autodesk Inventor 2022; SDC Publications: Mission, KS, USA, 2021.

[4] De Waal, J. Two cylinders steam engine with 'Joy' valve gear by Henry Muncaster. Disponible online:

<http://www.vapeuretmodelesavapeur.com/telechargements/muncaster-11-.pdf>

[5] Joy valve gear. Disponible online: [https://en.wikipedia.org/wiki/Joy\\_valve\\_gear](https://en.wikipedia.org/wiki/Joy_valve_gear)

[6] Railway wonders of the world. Disponible online:

<https://www.railwaywondersoftheworld.com/valvegears2.html>

[7] Joy's reversing and expansion valve gear. Disponible online:

<https://www.gutenberg.org/files/11647/11647-h/11647-h.htm#7>

[8] Joy, D. Steam-engine valve-gear (USA Patent N° US252224A) January 10, 1882.

Disponible online:

<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/002321523/publication/US252224A?q=pn%3DUS252224A>

## **ANEXO: PLANOS**

Plano 1. Perspectiva axonométrica del conjunto (elementos 1-24 y 101-103)

Plano 2. Perspectiva axonométrica del conjunto seccionada (elementos 25-58 y 96-100)

Plano 3. Perspectivas axonométricas del cigüeñal, enlace de expansión y válvula Joy (elementos 59-87)

Plano 4. Vista inferior y corte del conjunto (elementos 88-95)

Plano 5. Plano de detalle de la marca 1: Bancada

Plano 6. Plano de detalle de la marca 2: Alojamiento del cojinete del cigüeñal (superior)

Plano 7. Plano de detalle de la marca 3: Alojamiento del cojinete del cigüeñal (inferior)

Plano 8. Plano de detalle de la marca 4: Cojinete

Plano 9. Plano de detalle de la marca 5: Tapa del orificio de aceite del cojinete

Plano 10. Plano de detalle de la marca 7: Soporte del eje del enlace de expansión

Plano 11. Plano de detalle de la marca 94: Rodamiento del soporte del eje del enlace de expansión

Plano 12. Plano de detalle de la marca 36: Guía corredera de la cruceta

Plano 13. Plano de detalle de la marca 16: Bloque de cilindros

Plano 14. Cámara interior, casquillos, topes, tuberías y arandelas

Plano 15. Plano de detalle de la marca 40: Cubierta delantera del cilindro

Plano 16. Plano de detalle de la marca 14: Cubierta trasera del cilindro

Plano 17. Topes

Plano 18. Pasamuros

Plano 19. Plano de detalle de la marca 17: Junta cofre-bloque

Plano 20. Plano de detalle de la marca 45: Tapa del extremo de la válvula corredera

Plano 21. Plano de detalle de la marca 18: Cofre de válvulas

Plano 22. Plano de detalle de la marca 19: Cubierta del cofre de válvulas

Plano 23. Plano de detalle de la marca 43: Soporte del tubo de entrada de vapor

Plano 24. Plano de detalle de la marca 41: Tubo de salida de vapor

Plano 25. Plano de detalle de la marca 88: Soporte del tubo de salida de vapor

Plano 26. Plano de detalle de la marca 102: Tope de la guía corredera

Plano 27. Plano de detalle de la marca 9: Eje oscilante inferior del husillo de revolución

Plano 28. Plano de detalle de la marca 90: Soporte de la varilla excéntrica

Plano 29. Plano de detalle de la marca 38: Pistón

Plano 30. Plano de detalle de la marca 23: Varilla del pistón

Plano 31. Plano de detalle de la marca 56: Base de la cruceta

Plano 32. Plano de detalle de la marca 55: Cruceta

Plano 33. Plano de detalle de la marca 54: Cuña de la cruceta

Plano 34. Plano de detalle de la marca 49: Junta tórica del cilindro

Plano 35. Engrasadores

Plano 36. Tapones de los engrasadores

Plano 37. Plano de detalle de la marca 59: Soporte del volante

Plano 38. Codos y pasadores

Plano 39. Plano de detalle de la marca 65: Muñón central

Plano 40. Plano de detalle de la marca 63: Muñón exterior

Plano 41. Plano de detalle de la marca 62: Cachete

Plano 42. Plano de detalle de la marca 60: Guía del volante con el cigüeñal

Plano 43. Plano de detalle de la marca 24: Volante

Plano 44. Plano de detalle de la marca 6: Biela

Plano 45. Vástagos roscados

Plano 46. Plano de detalle de la marca 76: Pasador de la cabeza de la biela

Plano 47. Pasador entre la biela y el cojinete de la biela

Plano 48. Plano de detalle de la marca 27: Cojinete de la biela

Plano 49. Plano de detalle de la marca 48: Guía de la corredera de la válvula Joy

Plano 50. Plano de detalle de la marca 21: Eje de la válvula corredera

Plano 51. Plano de detalle de la marca 22: Eje de la válvula Joy

Plano 52. Plano de detalle de la marca 70 y 71: Carcasas del enlace de expansión

Plano 53. Plano de detalle de la marca 69: Barra de enlace de la carcasa

Plano 54. Barras de enlace

Plano 55. Plano de detalle de la marca 73: Eje de la carcasa del enlace de expansión

Plano 56. Plano de detalle de la marca 67: Eje de la carcasa del enlace de expansión  
II

Plano 57. Plano de detalle de la marca 68: Enlace de expansión

Plano 58. Plano de detalle de la marca 87: Tuerca corredera del enlace de expansión

Plano 59. Plano de detalle de la marca 8: Enlace de elevación

Plano 60. Plano de detalle de la marca 12: Pasador del enlace de elevación

Plano 61. Plano de detalle de la marca 10: Cojinete del husillo de revolución

Plano 62. Plano de detalle de la marca 11: Eje del husillo de revolución

Plano 63. Plano de detalle de la marca 13: Maneta del husillo de revolución

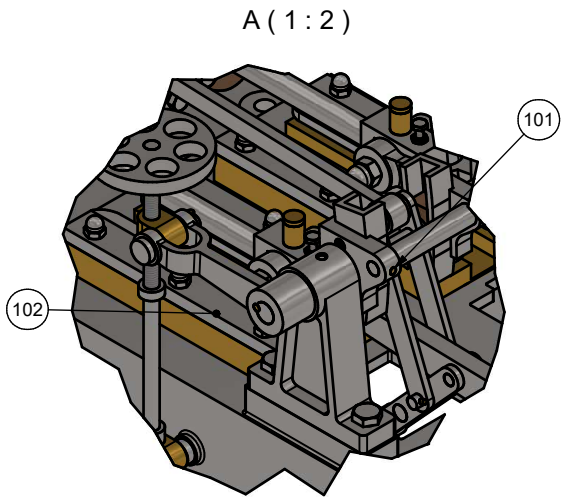
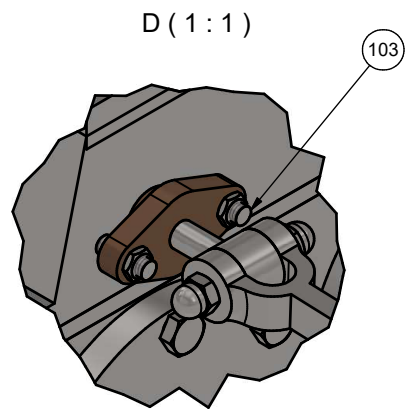
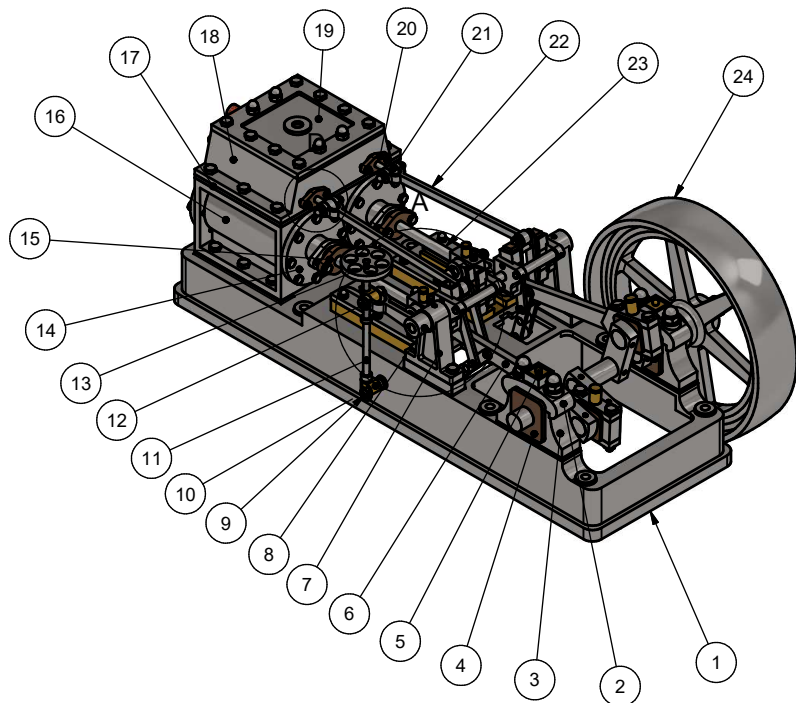
Plano 64. Plano de detalle de la marca 35: Varilla excéntrica

Plano 65. Plano de detalle de la marca 32: Pletina de la palanca inferior de la válvula  
Joy

Plano 66. Plano de detalle de la marca 78: Pletina de la palanca superior de la válvula  
Joy

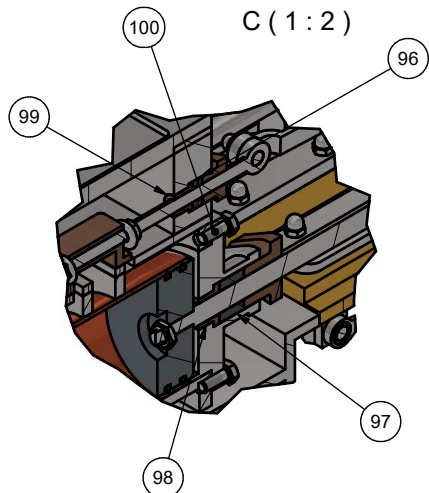
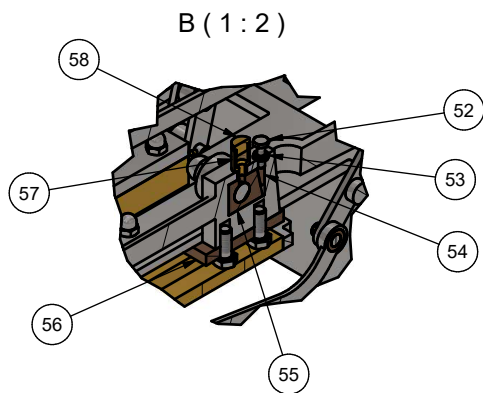
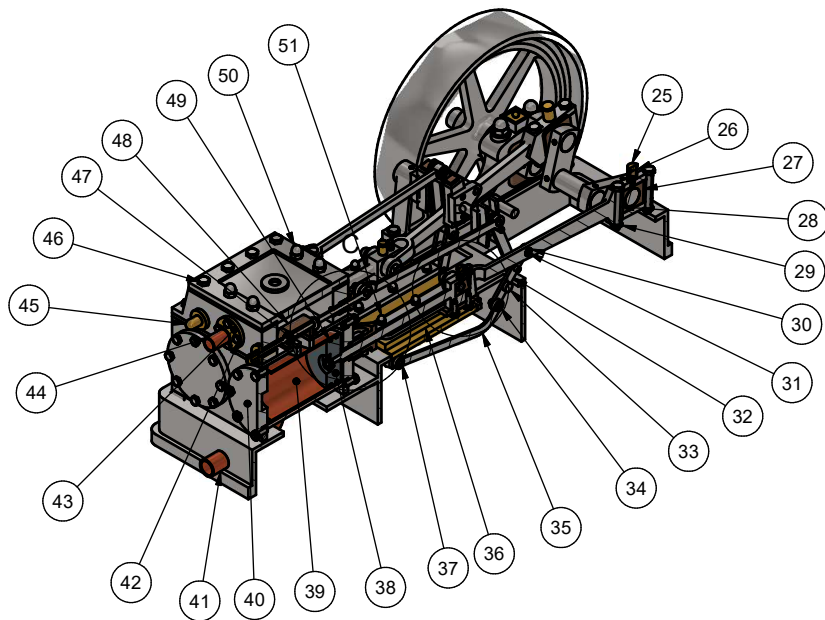
Plano 67. Pasadores

Plano 68. Perspectiva axonométrica estallada



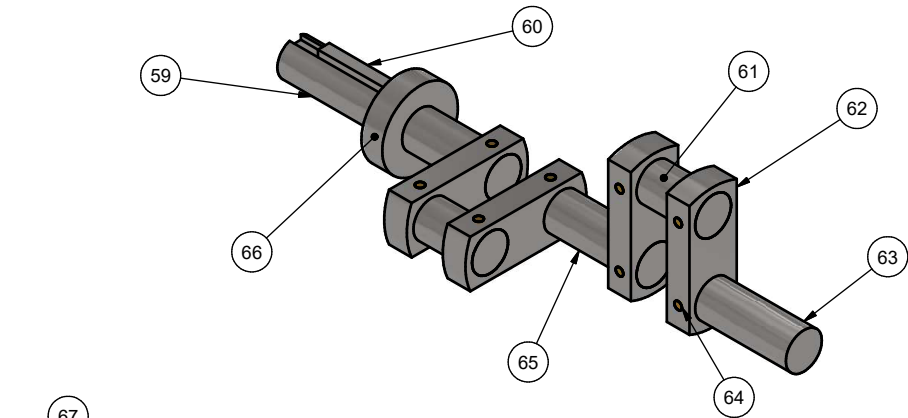
103	4	Perno 9	DIN 976-1 A M4 x 22	Acero inoxidable
102	4	Tope de la guía corredera	-	Acero dulce
101	4	Pasador de la carcasa del enlace de expansión	-	Bronce
24	1	Volante	-	Acero dulce
23	2	Varilla del pistón	-	Acero dulce
22	2	Eje de la válvula Joy	-	Acero dulce
21	2	Eje de la válvula corredera	-	Acero inoxidable
20	2	Pasamuros del cofre de válvulas	-	Bronce
19	1	Cubierta del cofre de válvulas	-	Acero dulce
18	1	Cofre de válvulas	-	Acero dulce
17	1	Junta cofre-bloque	-	Acero inoxidable
16	1	Bloque de cilindros	-	Acero dulce
15	2	Pasamuros del pistón	-	Bronce
14	2	Cubierta trasera del cilindro	-	Acero dulce
13	1	Maneta del husillo de revolución	-	Acero dulce
12	1	Pasador del enlace de elevación	-	Acero dulce
11	1	Eje del husillo de revolución	-	Acero dulce
10	2	Cojinete del husillo de revolución	-	Latón
9	1	Eje oscilante inferior del husillo de revolución	-	Acero dulce
8	1	Enlace de elevación	-	Acero dulce
7	2	Soporte del eje del enlace de expansión	-	Acero dulce
6	2	Biela	-	Acero dulce
5	2	Tapa del orificio de aceite del cojinete	-	Latón
4	2	Cojinete	-	Bronce
3	2	Alojamiento del cojinete del cigüeñal (inferior)	-	Acero dulce
2	2	Alojamiento del cojinete del cigüeñal (superior)	-	Acero dulce
1	1	Bancada	-	Acero dulce
Marca	Cantidad	Denominación	Norma	Material

Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
1:5/1:2/1:1	Perspectiva axonométrica del conjunto	01/68

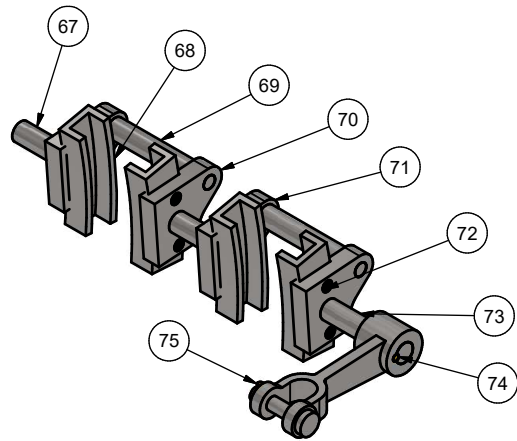


100	34	Perno 5	ISO 4017 M5 x 12	Acero inoxidable
99	2	Tope del cofre de válvulas	-	Bronce
98	2	Tope de la cubierta trasera del cilindro	-	Bronce
97	2	Casquillo de la cubierta trasera del cilindro	-	Caucho
96	2	Casquillo del cofre de válvulas	-	Caucho
58	2	Tapón del engrasador de la cruceta	-	Latón
57	2	Engrasador de la cruceta	-	Latón
56	2	Base de la cruceta	-	Bronce
55	2	Cruceta	-	Bronce
54	2	Cuña de la cruceta	-	Bronce
53	4	Tuerca 5	ISO 4035 M3	Acero inoxidable
52	2	Perno 4	ISO 4017 M3 x 10	Acero inoxidable
51	16	Tuerca 4	DIN 1587 M4	Acero dulce
50	8	Tuerca 3	DIN 1587 M6	Acero dulce
49	4	Junta tórica del cilindro	-	Caucho
48	2	Guía de la corredera de la válvula Joy	-	Bronce
47	4	Tuerca 2	ISO 4161 M5	Acero inoxidable
46	14	Perno 3	ISO 4017 M6 x 12	Acero inoxidable
45	2	Tapa del extremo de la válvula corredera	-	Latón
44	1	Tubo de entrada de vapor	-	Cobre
43	1	Soporte del tubo entrada de vapor	-	Latón
42	10	Perno 2	ISO 4017 M4 x 12	Acero inoxidable
41	1	Tubo de salida de vapor	-	Cobre
40	2	Cubierta delantera del cilindro	-	Acero dulce
39	2	Camisa interior del bloque de cilindros	-	Bronce
38	2	Pistón	-	Hierro fundido
37	2	Casquillo interior de la varilla excéntrica 6 mm	-	Bronce
36	2	Guía corredera de la cruceta	-	Latón
35	2	Varilla excéntrica	-	Acero dulce
34	2	Casquillo interior de la varilla excéntrica 5 mm	-	Bronce
33	2	Barra de enlace de la palanca inferior de la válvula Joy	-	Acero dulce
32	4	Pletina de la palanca inferior de la válvula Joy	-	Acero dulce
31	2	Pasador I de la palanca inferior de la válvula Joy	-	Acero dulce
30	2	Casquillo interior de la biela	-	Bronce
29	16	Tuerca 1	ISO 4035 M6	Acero inoxidable
28	4	Perno 1	ISO 4017 M6 x 45	Acero inoxidable
27	2	Cojinete de la biela	-	Bronce
26	2	Engrasador de la biela	-	Latón
25	2	Tapón del engrasador de la biela	-	Latón
Marca	Cantidad	Denominación	Norma	Material

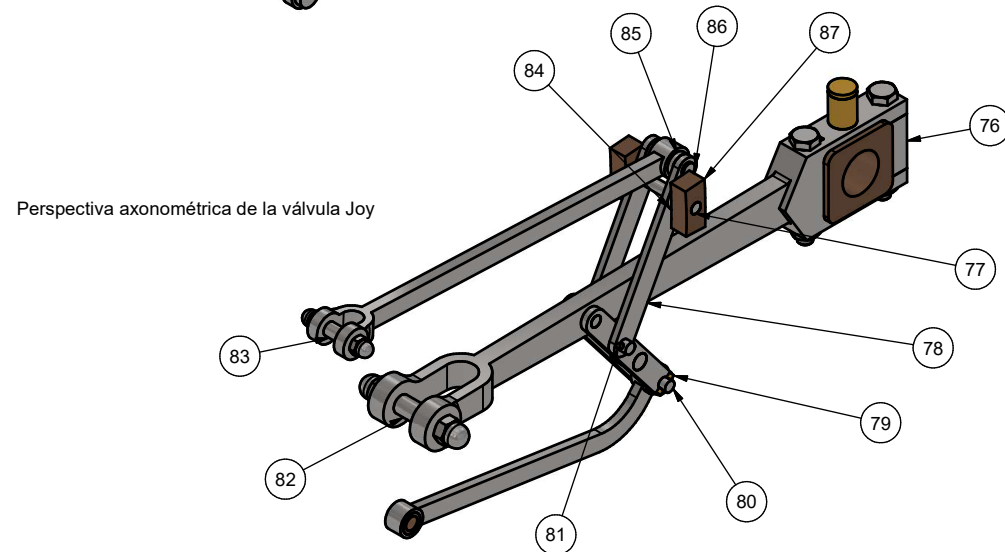
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica		
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'		
Fecha:	Julio de 2023			
Escala:	Título:	Plano:		
1:5/1:2	Perspectiva axonométrica del conjunto seccionada	02/68		



Perspectiva axonométrica del cigüeñal



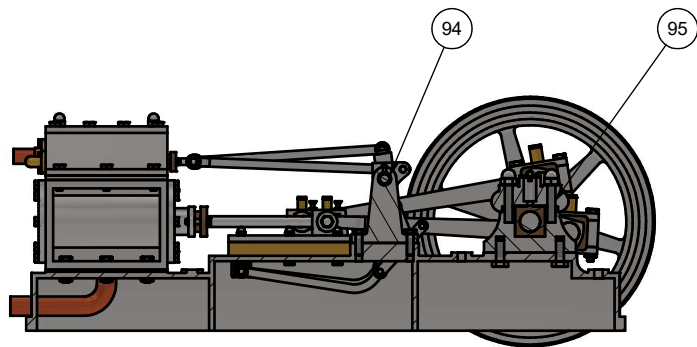
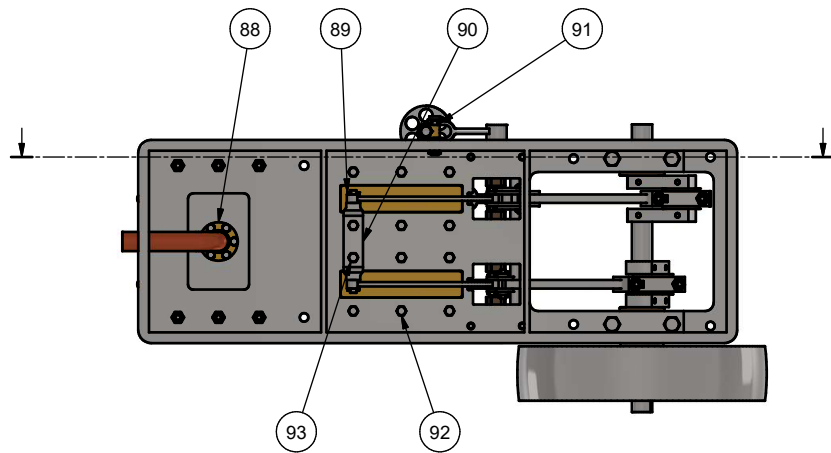
Perspectiva axonométrica del enlace de expansión



Perspectiva axonométrica de la válvula Joy

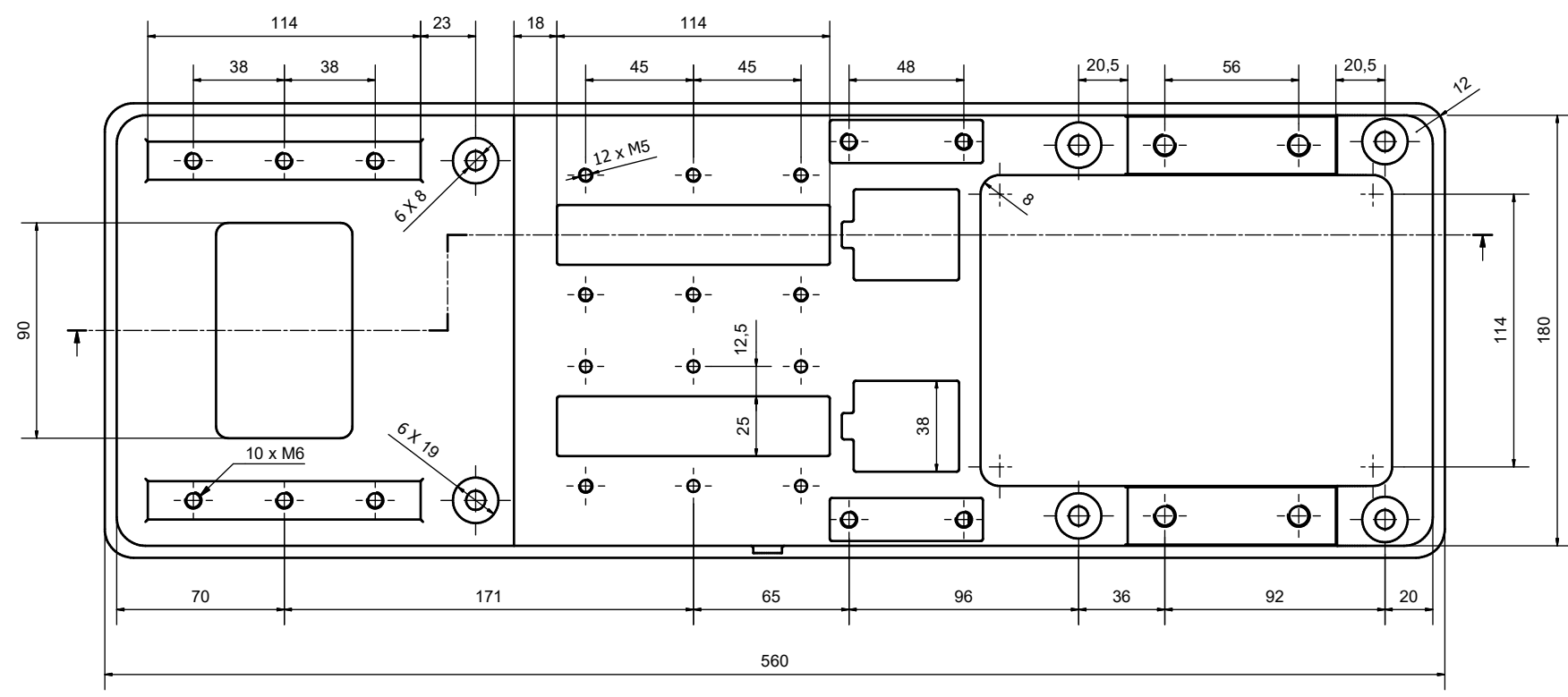
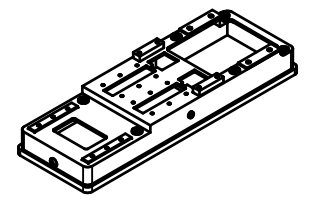
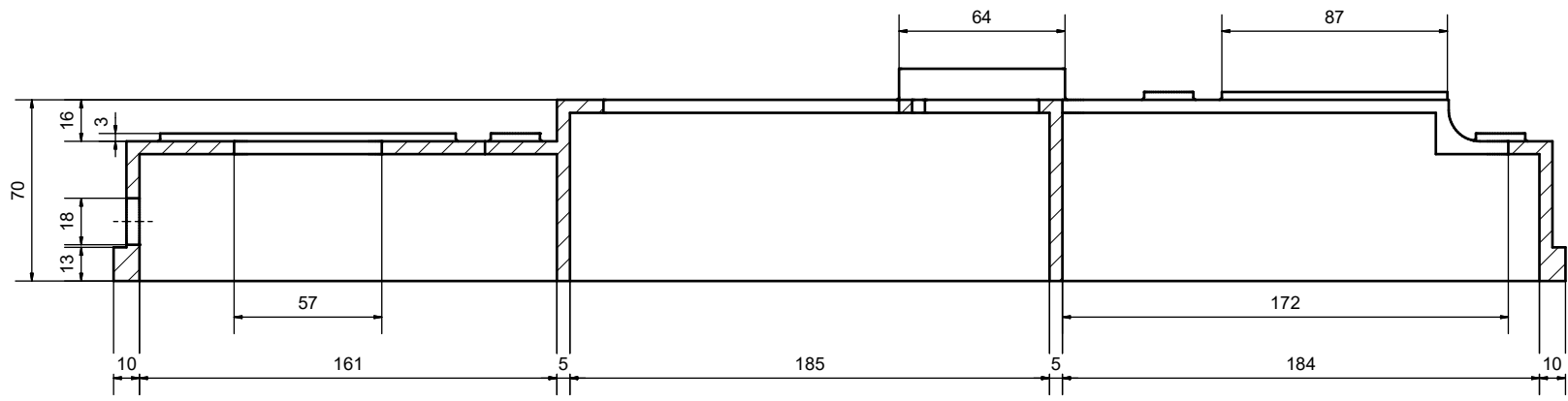
87	2	Tuerca corredera del enlace de expansión	-	Bronce
86	4	Pasador I de la palanca superior de la válvula Joy	-	Acero dulce
85	4	Arandela del pasador I de la palanca superior de la válvula Joy	-	Acero dulce
84	4	Arandela del pasador II de la palanca superior de la válvula Joy	-	Acero dulce
83	2	Vástago del eje de la válvula Joy	-	Acero dulce
82	2	Vástago del pie de la biela	-	Acero dulce
81	4	Pasador del pasador III de la palanca superior de la válvula Joy	-	Latón
80	2	Pasador II de la palanca inferior de la válvula Joy	-	Acero dulce
79	4	Pasador	-	Latón
78	4	Pletina de la palanca superior de la válvula Joy	-	Acero dulce
77	2	Pasador II de la palanca superior de la válvula Joy	-	Acero dulce
76	2	Pasador de la cabeza de la biela	-	Acero dulce
75	1	Pasador del pasador del enlace de elevación	-	Latón
74	1	Pasador del eje de la carcasa del enlace de expansión	-	Latón
73	1	Eje de la carcasa del enlace de expansión	-	Acero dulce
72	8	Perno 6	ISO 4029 M3 x 8	Acero inoxidable
71	2	Carcasa izquierda del enlace de expansión	-	Acero dulce
70	2	Carcasa derecha del enlace de expansión	-	Acero dulce
69	2	Barra de enlace de la carcasa	-	Acero dulce
68	4	Enlace de expansión	-	Acero dulce
67	1	Eje de la carcasa del enlace de expansión II	-	Acero dulce
66	1	Tope del volante con el cigüeñal	-	Acero dulce
65	1	Muñón central	-	Acero dulce
64	8	Pasador del cigüeñal	-	Latón
63	1	Muñón exterior	-	Acero dulce
62	4	Cachete	-	Acero dulce
61	2	Codo de la biela	-	Acero dulce
60	1	Guía del volante con el cigüeñal	-	Acero dulce
59	1	Soporte del volante	-	Acero dulce
Marca	Cantidad	Denominación	Norma	Material

Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'	
Fecha:	Julio de 2023		
Escala:	Título:	Plano:	
1:2	Perspectivas axonométricas del cigüeñal, enlace de expansión y válvula Joy	03/68	

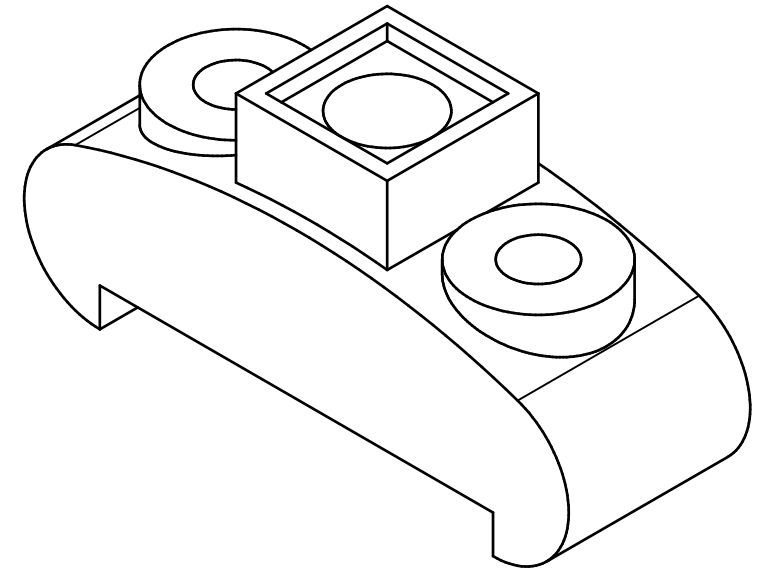
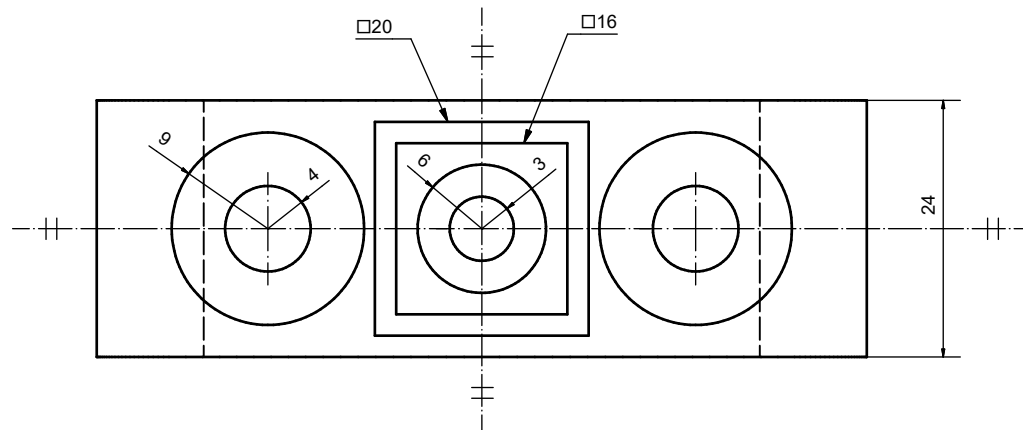
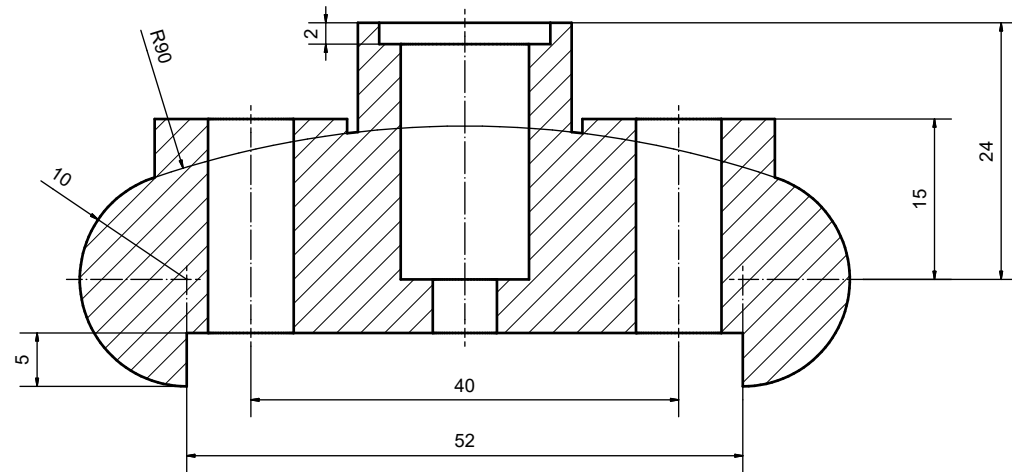


95	4	Perno 8	DIN 976-1 A M8 x 40	Acero dulce
94	2	Rodamiento del eje del enlace de expansión	-	Bronce
93	2	Perno 7	ISO 4017 M5 x 35	Acero inoxidable
92	10	Perno 6	ISO 4017 M5 x 30	Acero inoxidable
91	1	Pasador del eje oscilante inferior del husillo de revolución	-	Latón
90	1	Soporte de la varilla excéntrica	-	Latón
89	2	Pasador del soporte de la varilla excéntrica	-	Latón
88	1	Soporte del tubo de salida de vapor	-	Latón
Marca	Cantidad	Denominación	Norma	Material

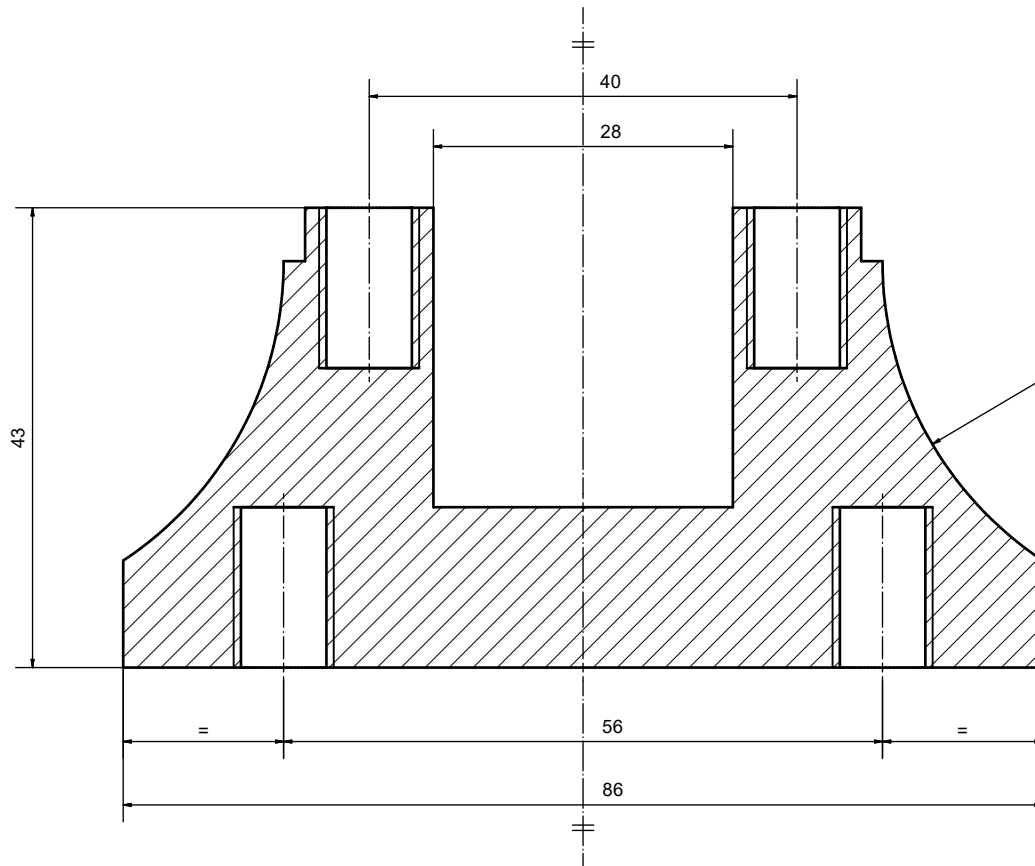
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'	
Fecha:	Julio de 2023		
Escala:	Título:	Plano:	
1:5	Vista inferior y corte del conjunto	04/68	



Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título: Bancada	Plano: 05/68



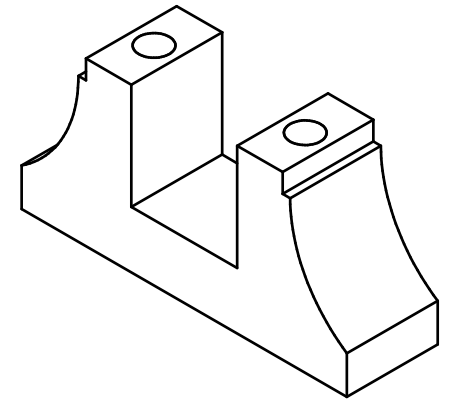
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Alojamiento del cojinete del cigüeñal (superior)	06/68



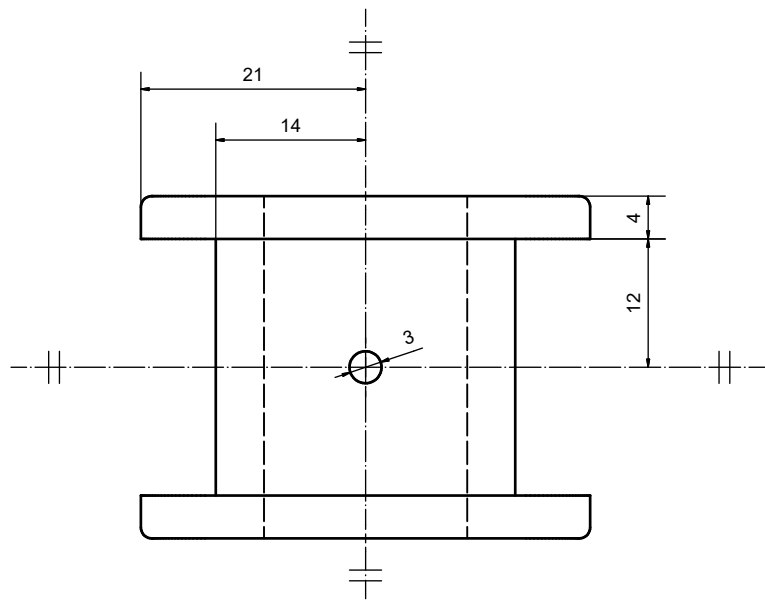
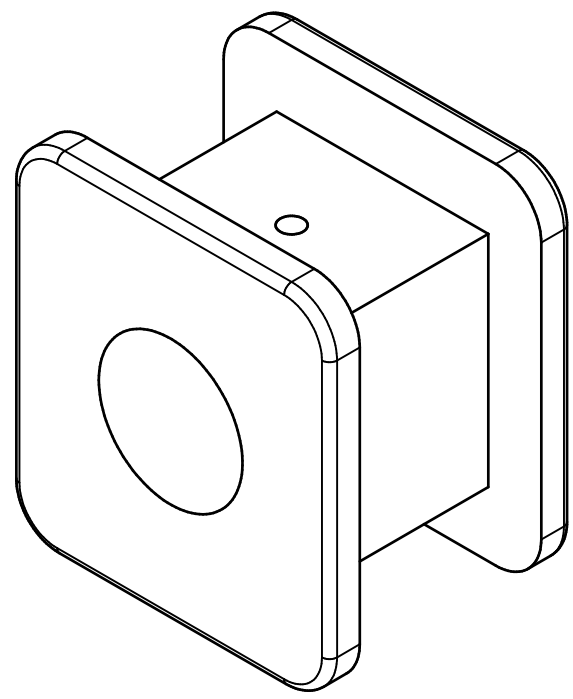
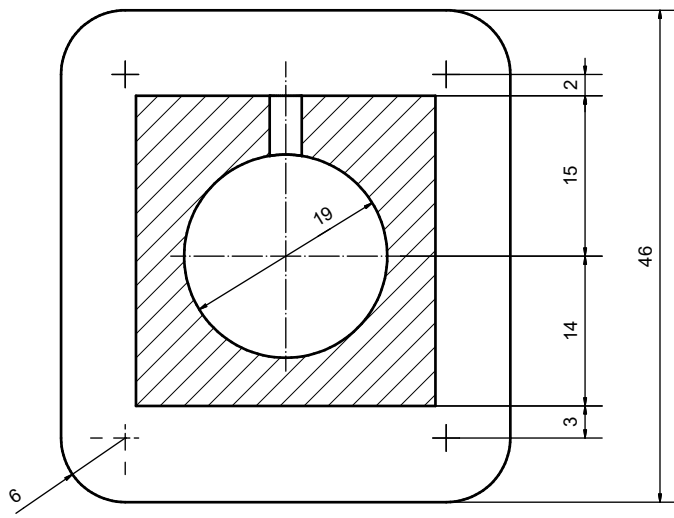
33,5

Espesor 24 mm

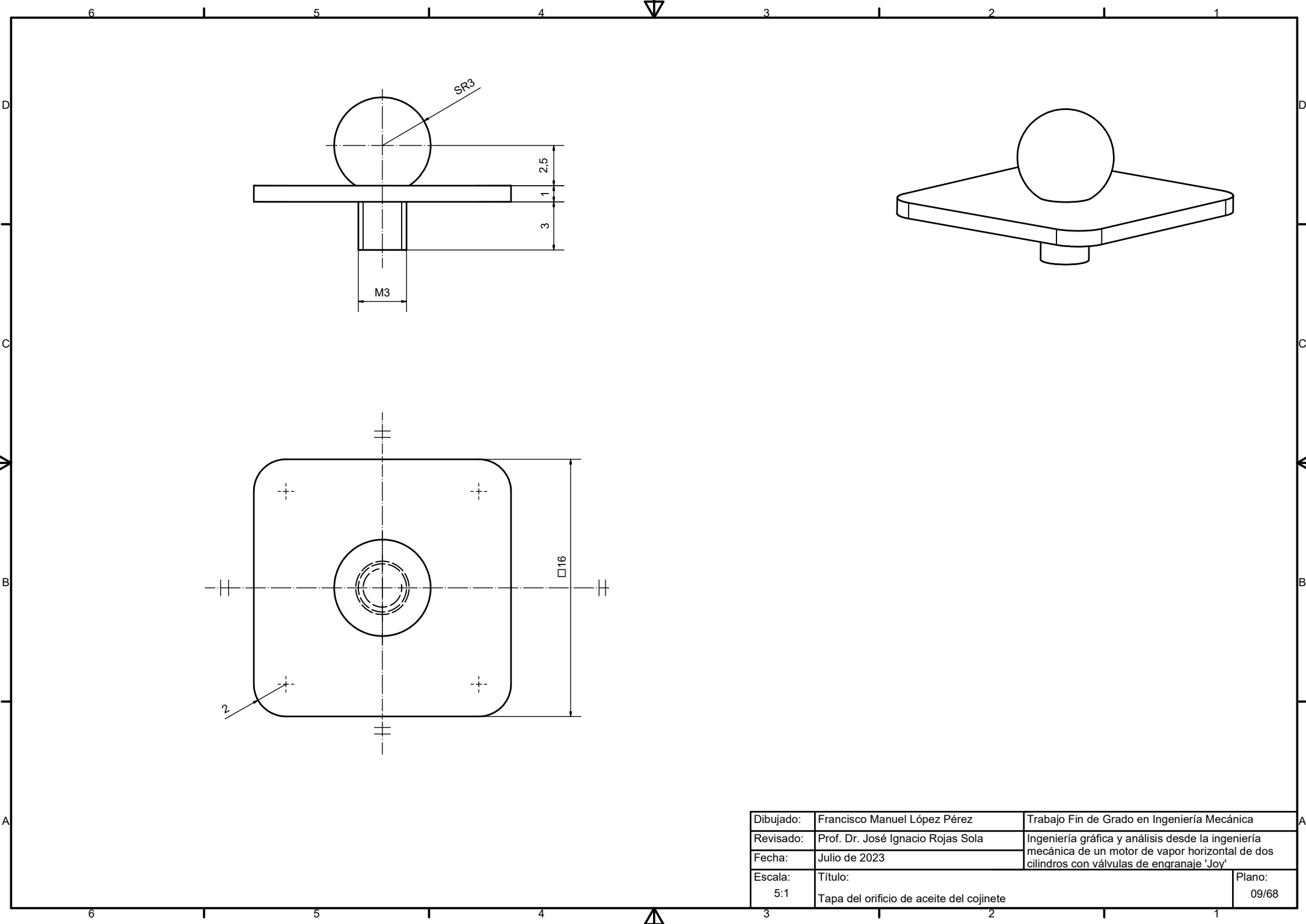
4 agujeros roscados M8 x 15



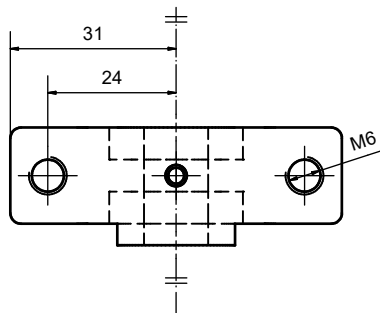
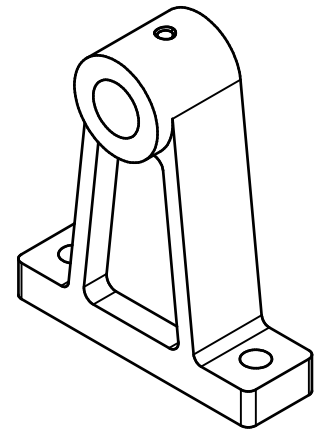
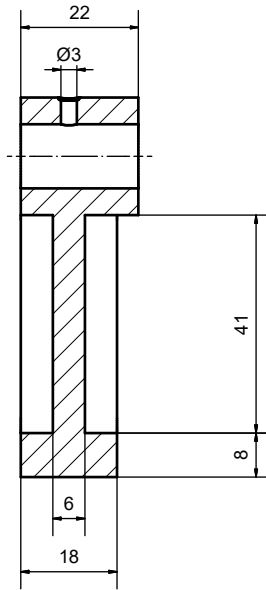
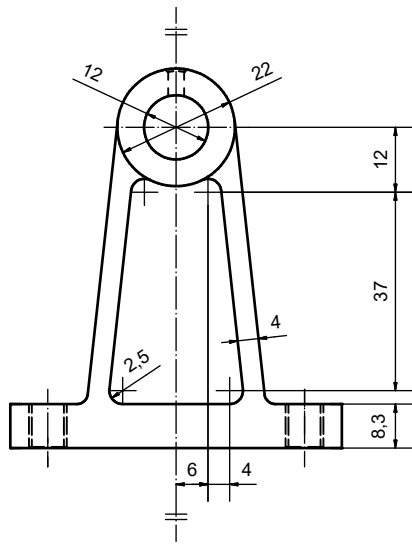
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Alojamiento del cojinete del cigüeñal (inferior)	07/68



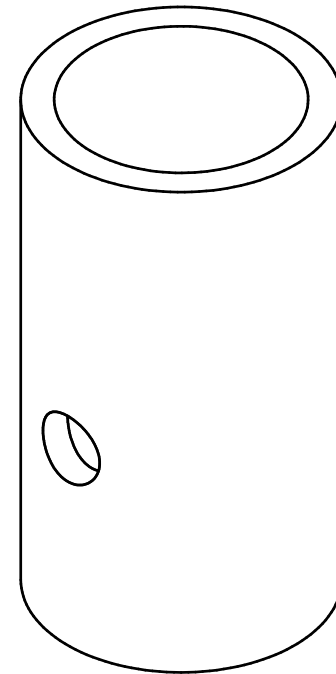
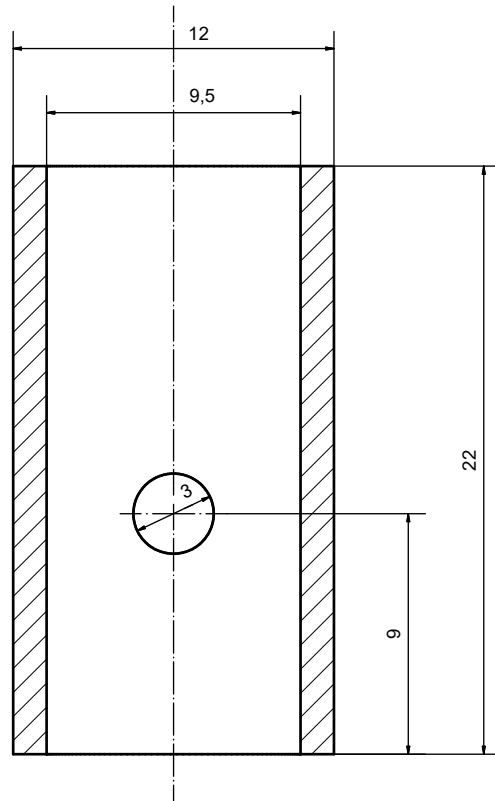
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Cojinete	08/68



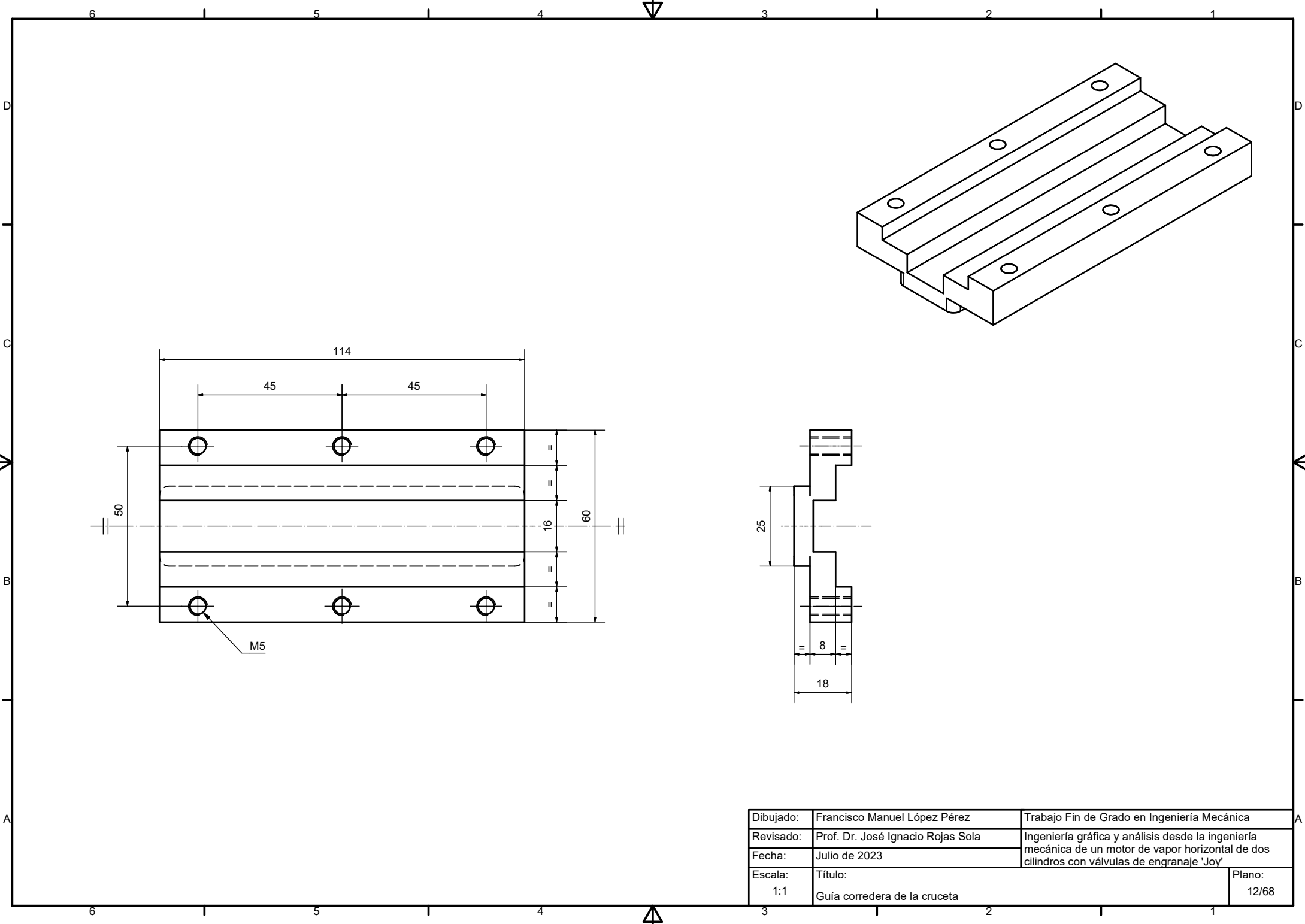
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
5:1	Tapa del orificio de aceite del cojinete	09/68



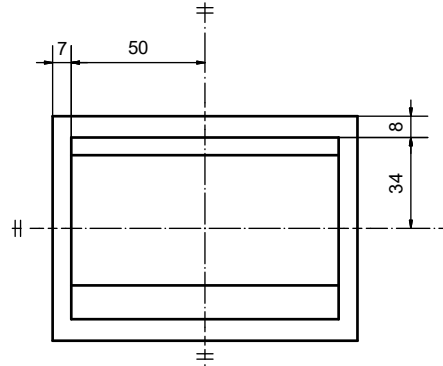
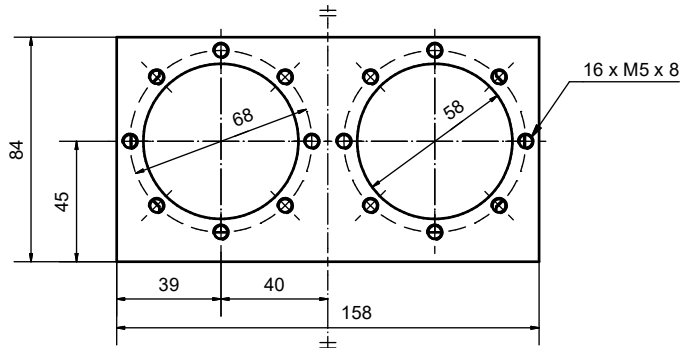
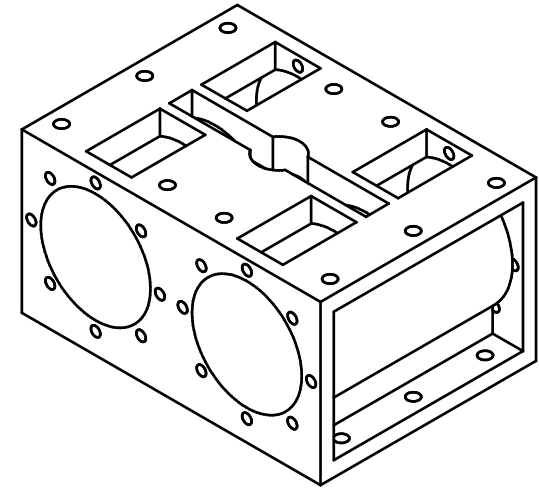
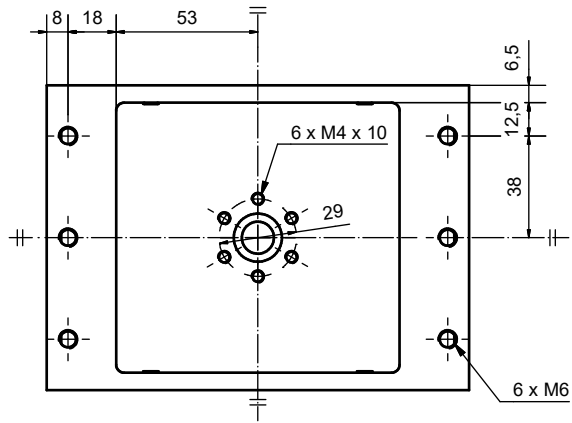
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
1:1	Soporte del eje del enlace de expansión	10/68



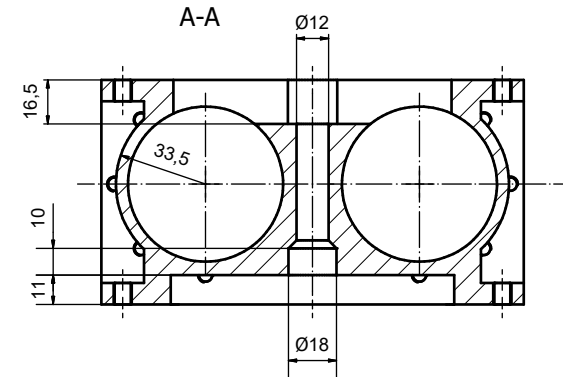
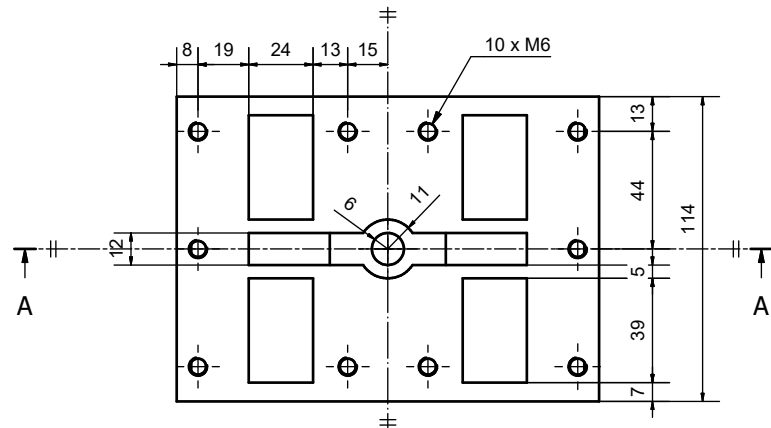
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
5:1	Rodamiento del eje del enlace de expansión	11/68



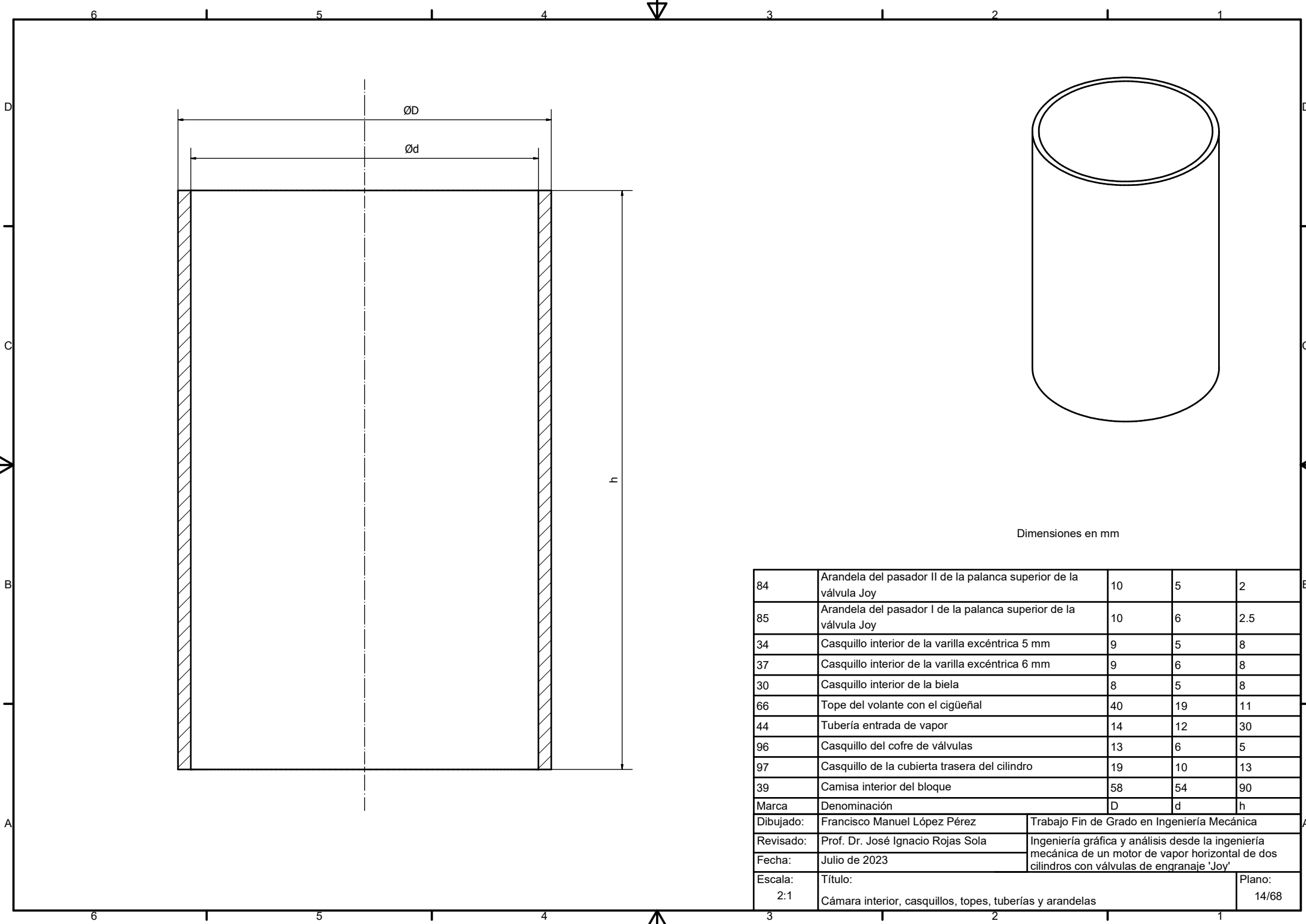
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
1:1	Guía corredera de la cruceta	12/68



Cara opuesta igual

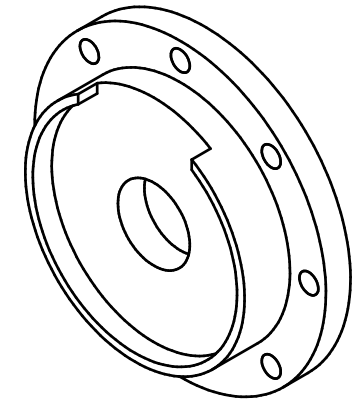
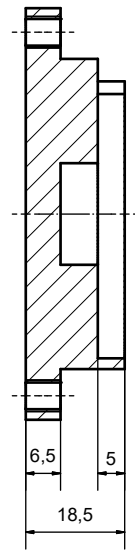
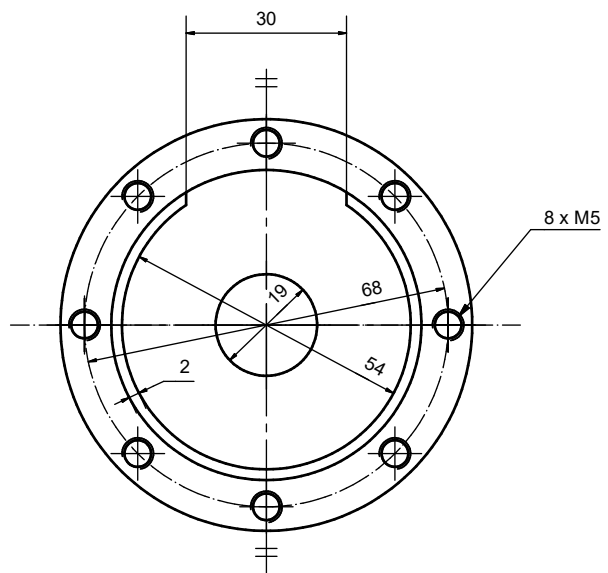


Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
1:2	Bloque de cilindros	13/68

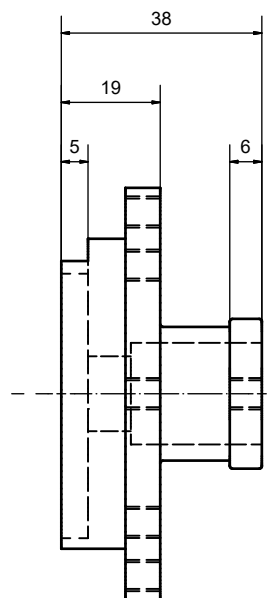
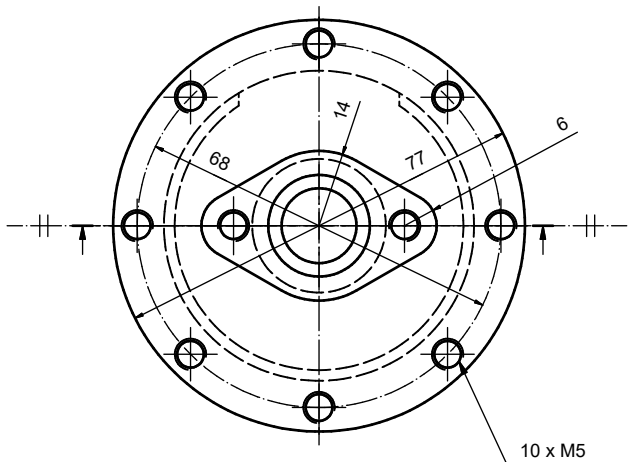
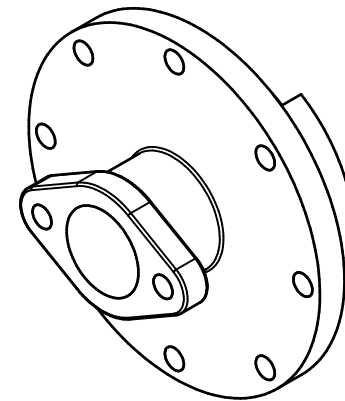
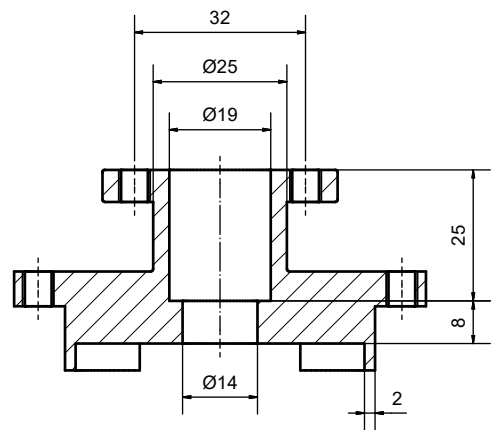


Dimensiones en mm

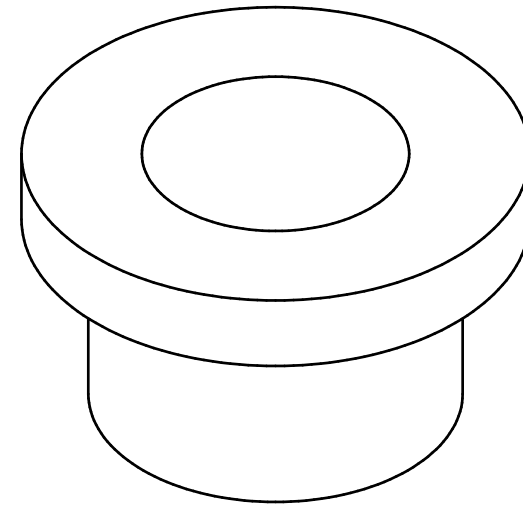
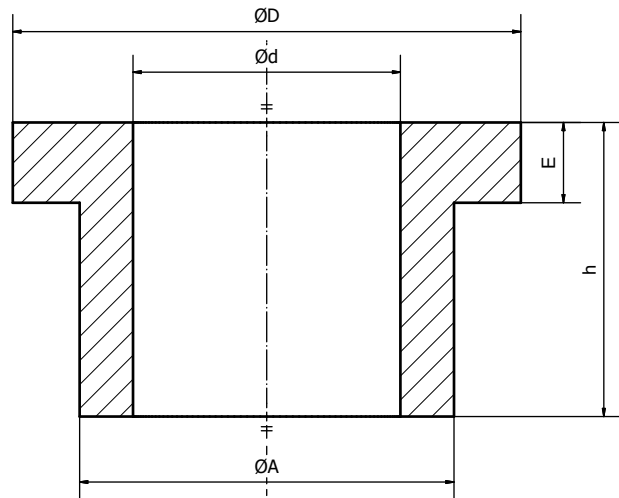
84	Arandela del pasador II de la palanca superior de la válvula Joy	10	5	2	B
85	Arandela del pasador I de la palanca superior de la válvula Joy	10	6	2.5	B
34	Casquillo interior de la varilla excéntrica 5 mm	9	5	8	B
37	Casquillo interior de la varilla excéntrica 6 mm	9	6	8	B
30	Casquillo interior de la biela	8	5	8	B
66	Tope del volante con el cigüeñal	40	19	11	B
44	Tubería entrada de vapor	14	12	30	B
96	Casquillo del cofre de válvulas	13	6	5	B
97	Casquillo de la cubierta trasera del cilindro	19	10	13	B
39	Camisa interior del bloque	58	54	90	B
Marca	Denominación	D	d	h	B
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica			
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'			
Fecha:	Julio de 2023				
Escala:	Título:				Plano:
2:1	Cámara interior, casquillos, topes, tuberías y arandelas				14/68



Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
1:1	Cubierta delantera del cilindro	15/68

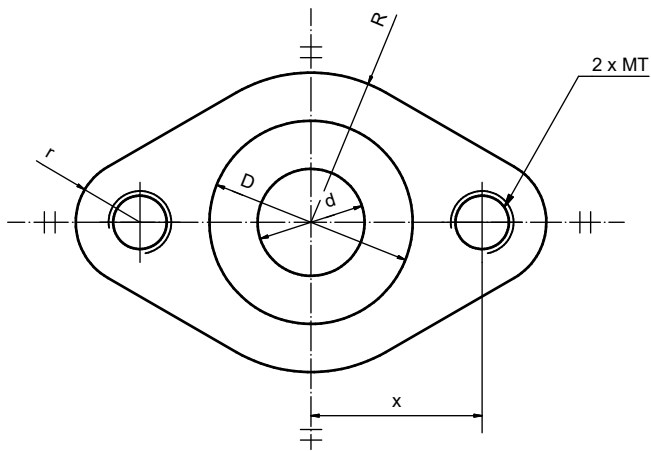
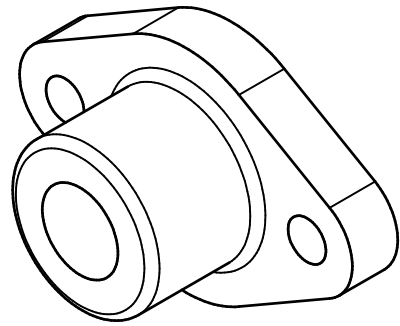
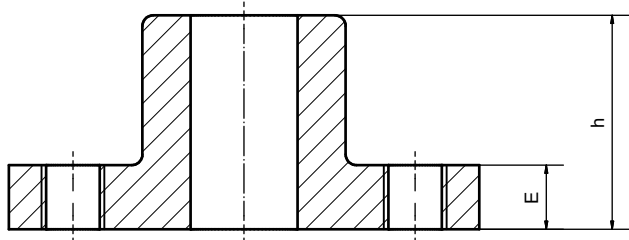


Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
1:1	Cubierta trasera del cilindro	16/68



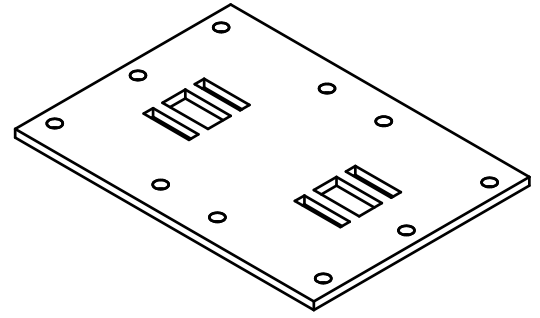
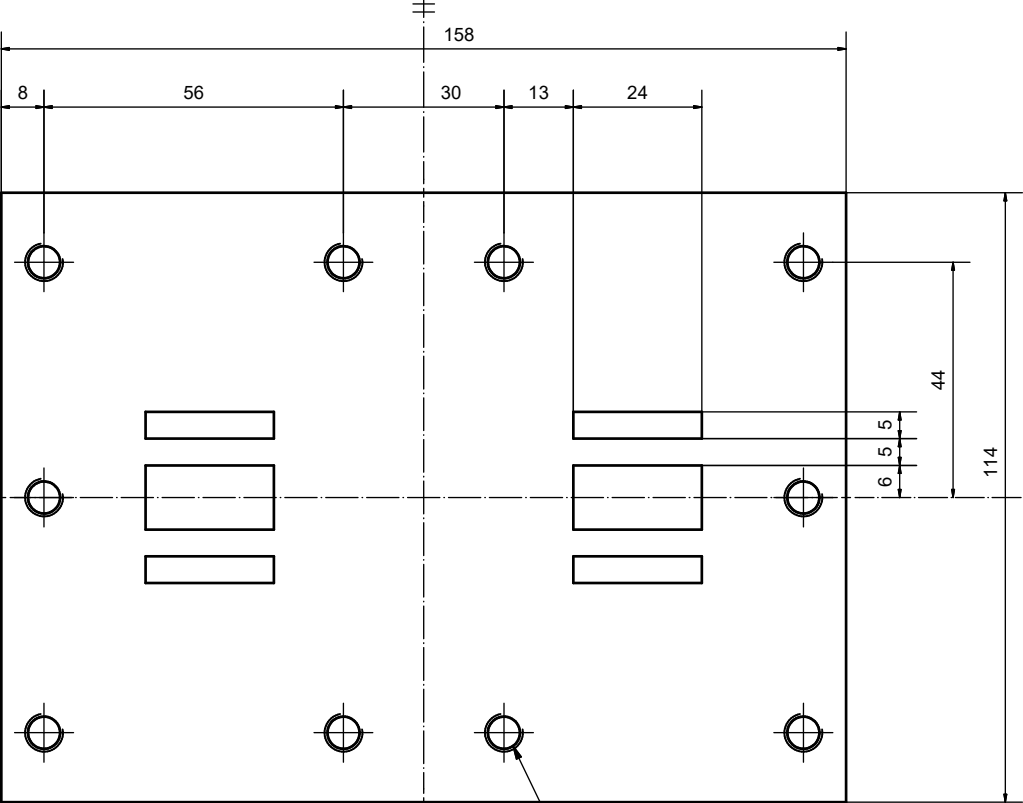
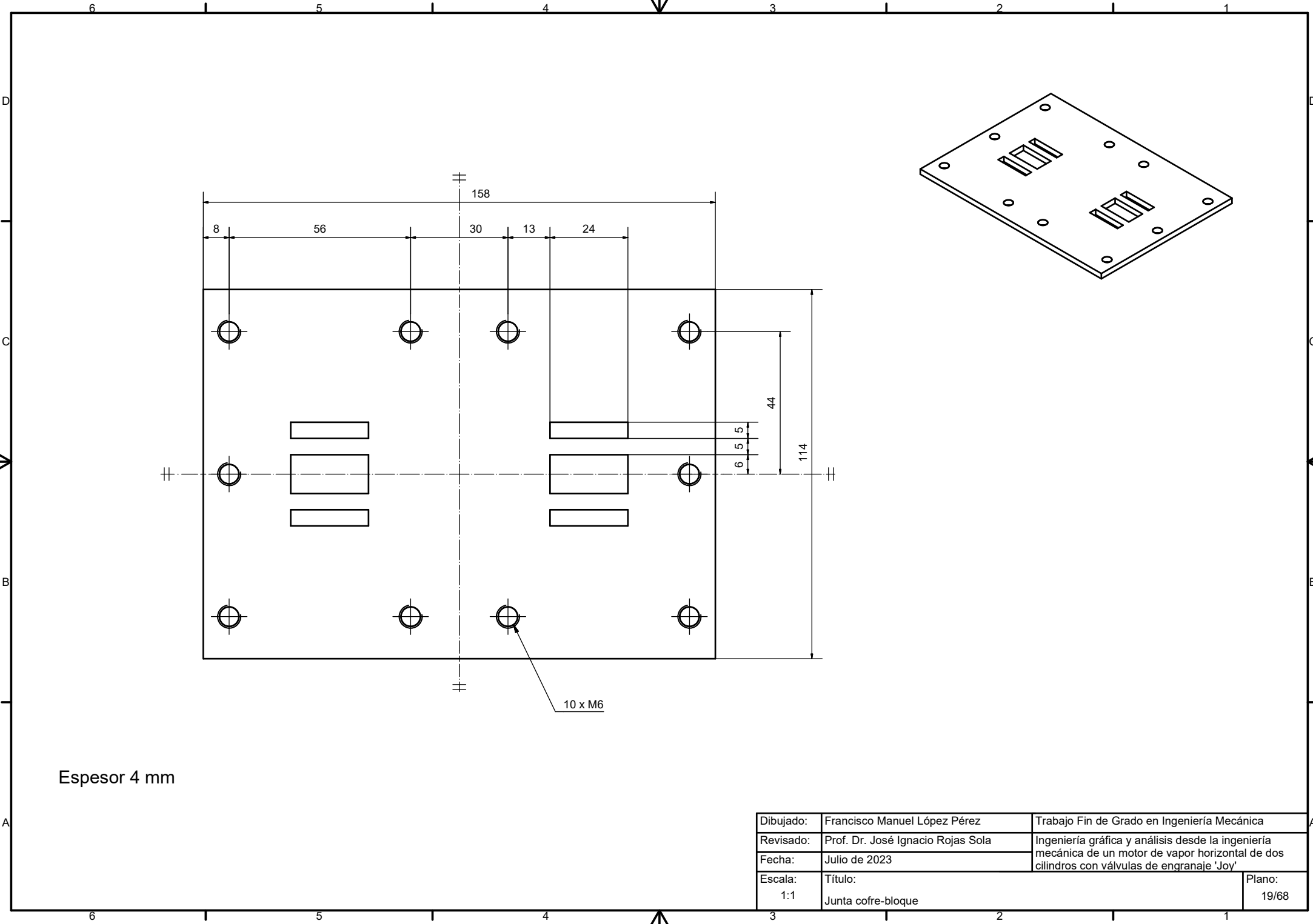
Dimensiones en mm

99	Tope del cofre de válvulas	13	6	10	10	2
98	Tope de la cubierta trasera del cilindro	19	10	11	14	3
Marca	Denominación	D	d	h	A	E
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica				
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'				
Fecha:	Julio de 2023					
Escala:	Título:	Topes				Plano:
5:1						17/68



Dimensiones en mm

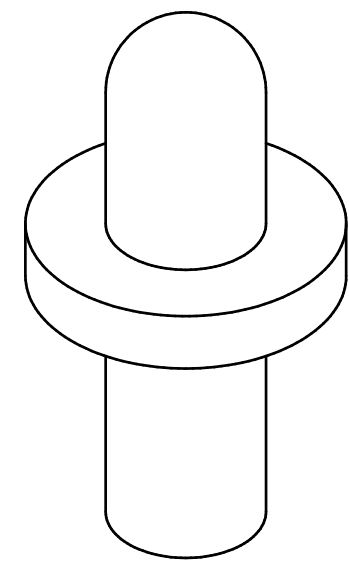
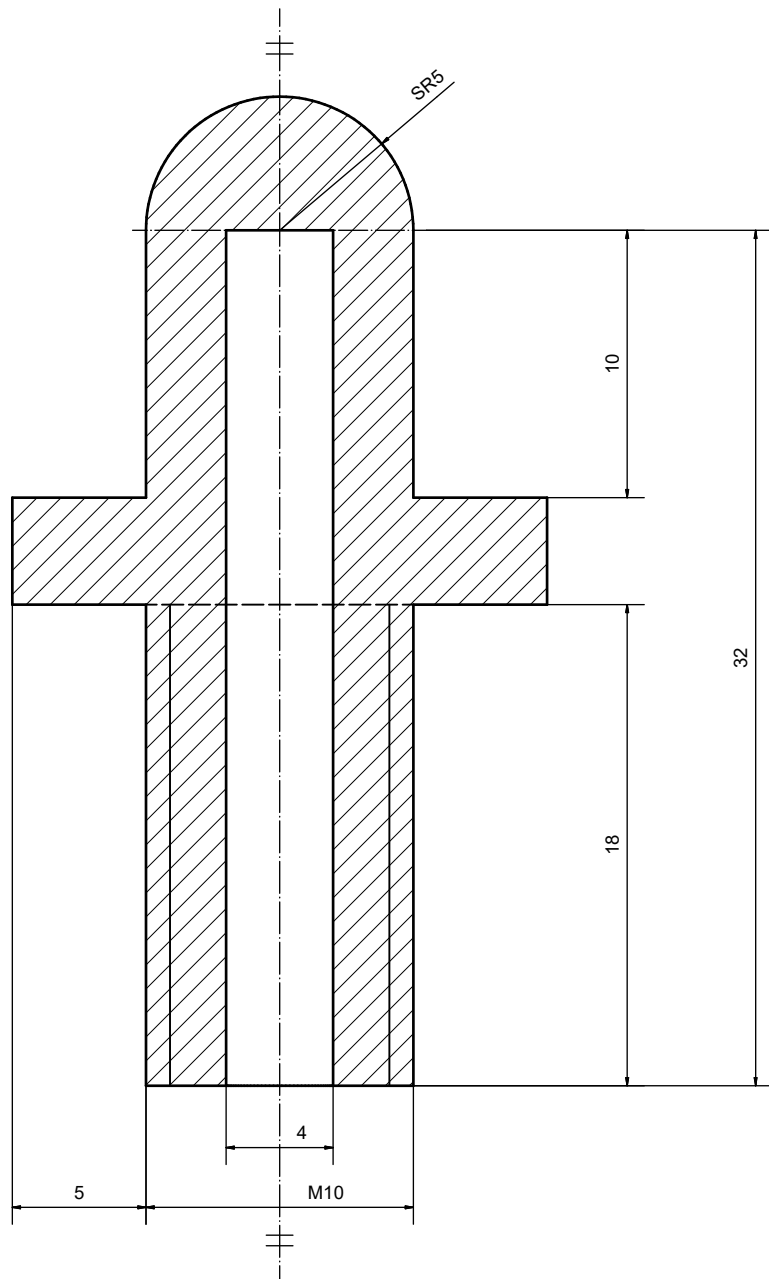
20	Pasamuros del cofre de válvulas	13	6	13	5	4	4.5	12.5	9
15	Pasamuros del pistón	19	10	20	6	5	6	16	14
Marca	Denominación	D	d	h	E	T	r	x	R
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica							
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'							
Fecha:	Julio de 2023								
Escala:	Título:								Plano:
2:1	Pasamuros								18/68



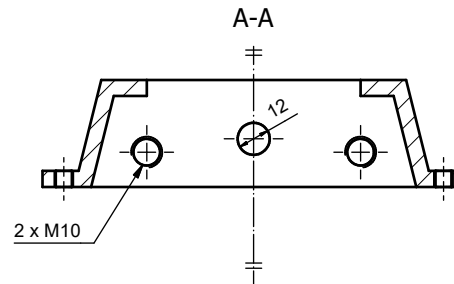
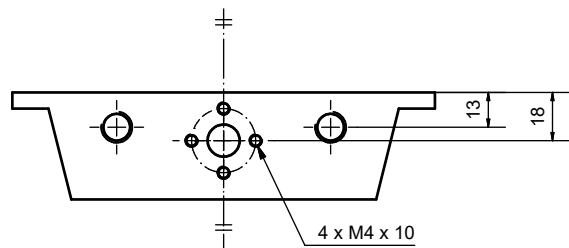
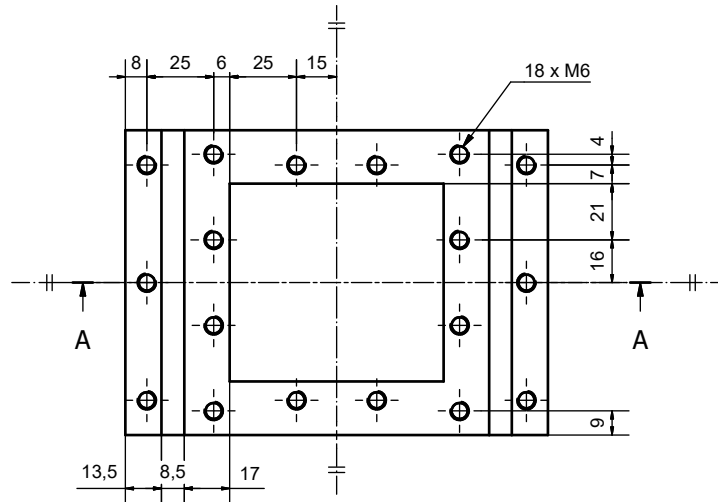
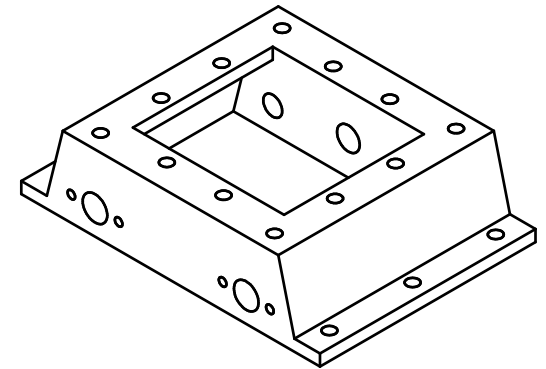
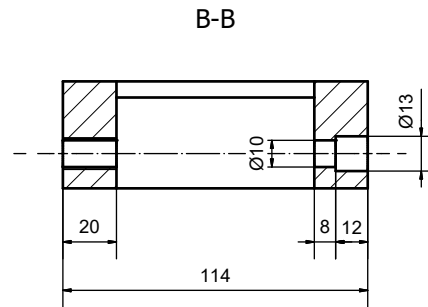
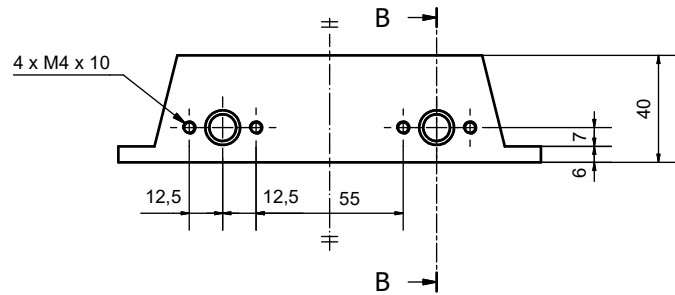
Espesor 4 mm

10 x M6

Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
1:1	Junta cofre-bloque	19/68

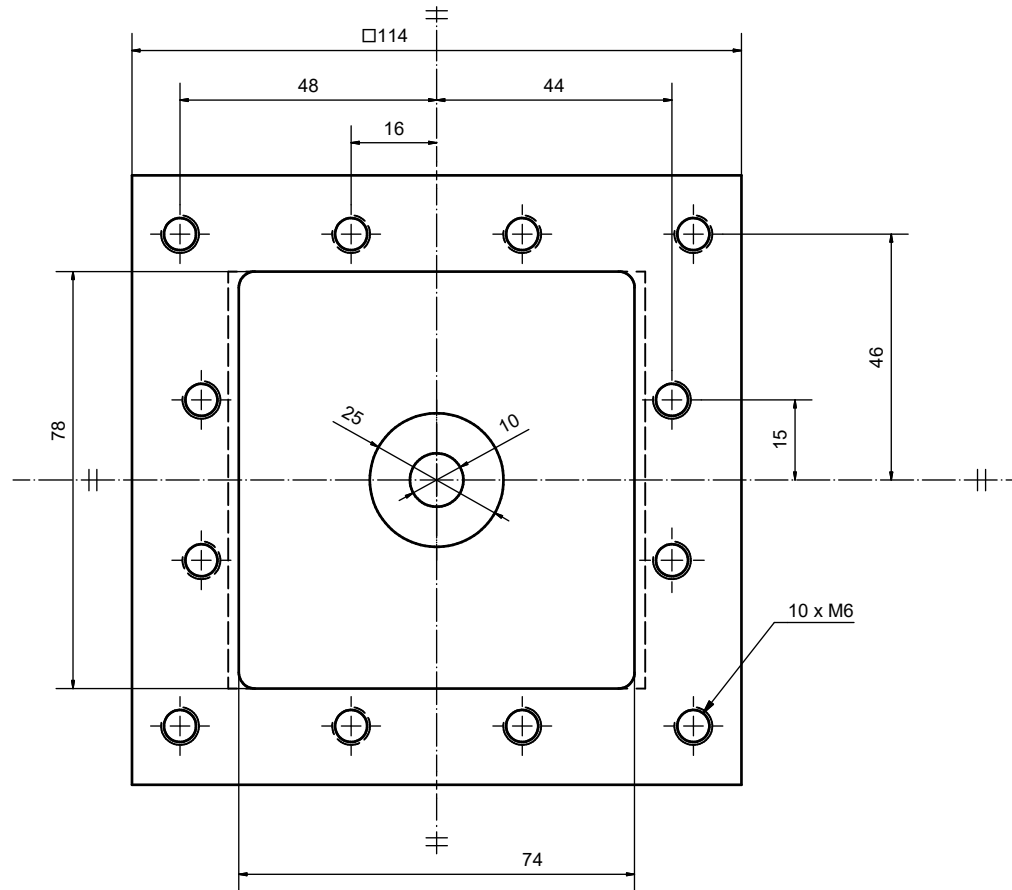
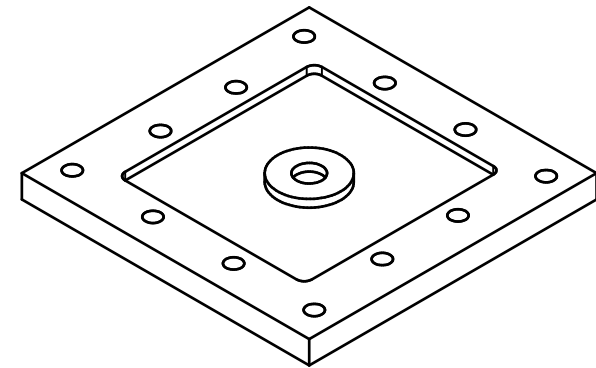
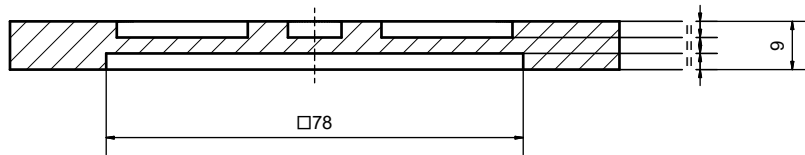


Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
5:1	Tapa del extremo de la varilla de la válvula	20/68

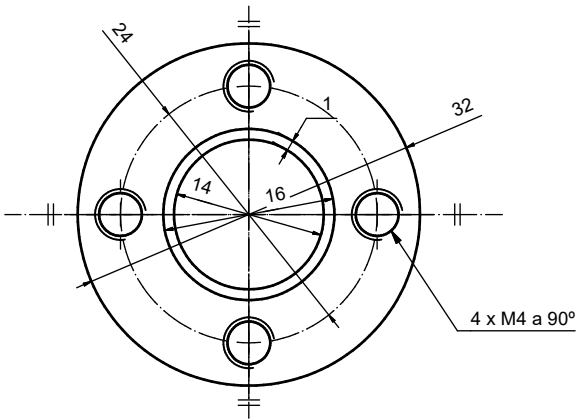
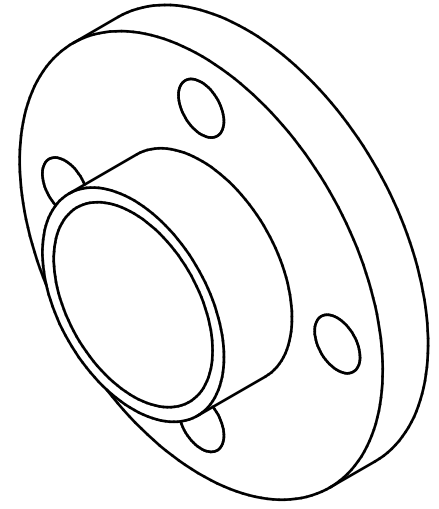
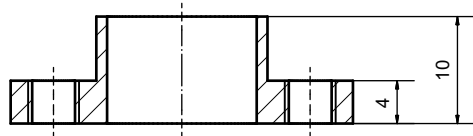


Espesor 6 mm

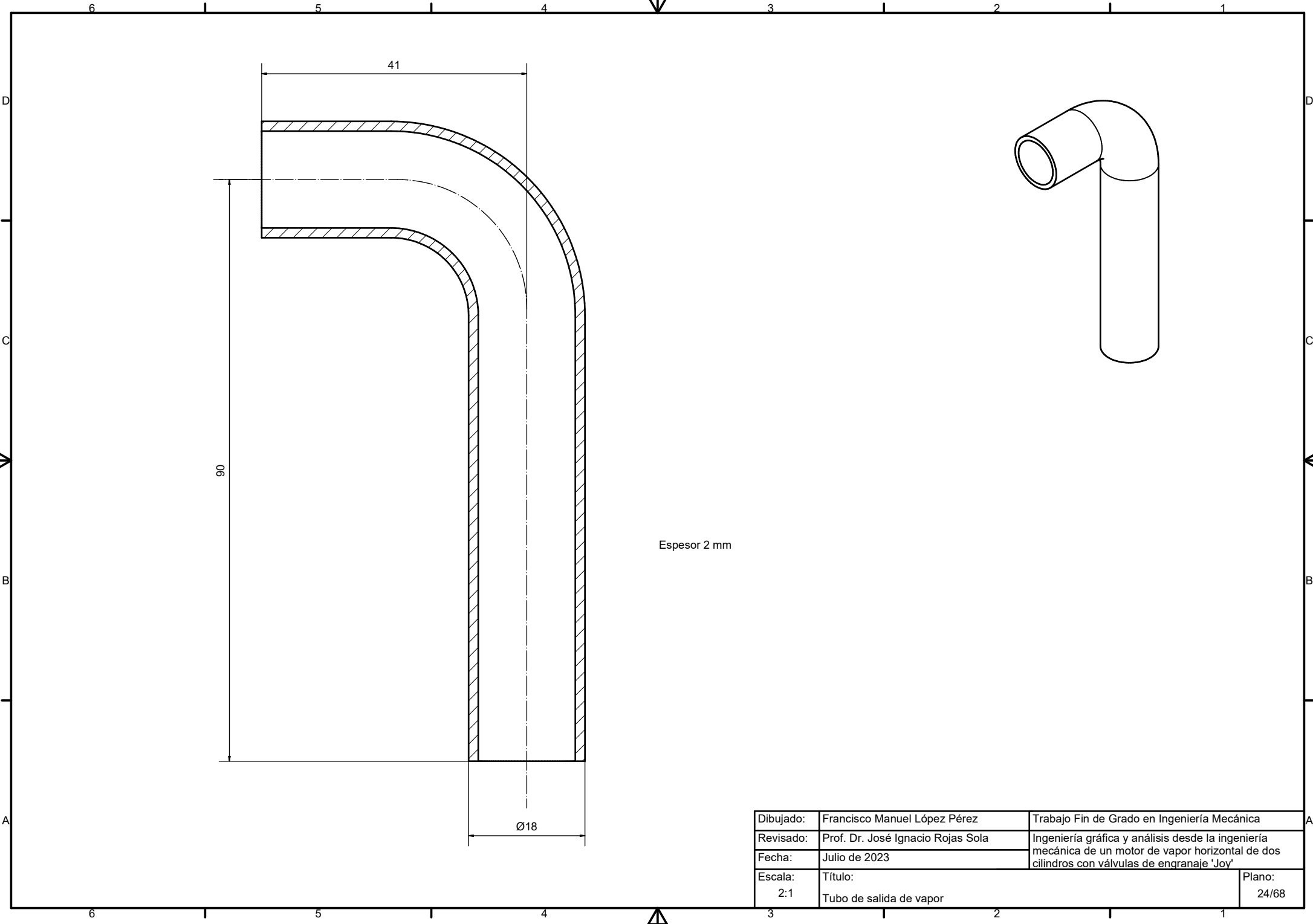
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título: 1:2 Cofre de válvulas	Plano: 21/68



Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
1:1	Cubierta del cofre de válvulas	22/68

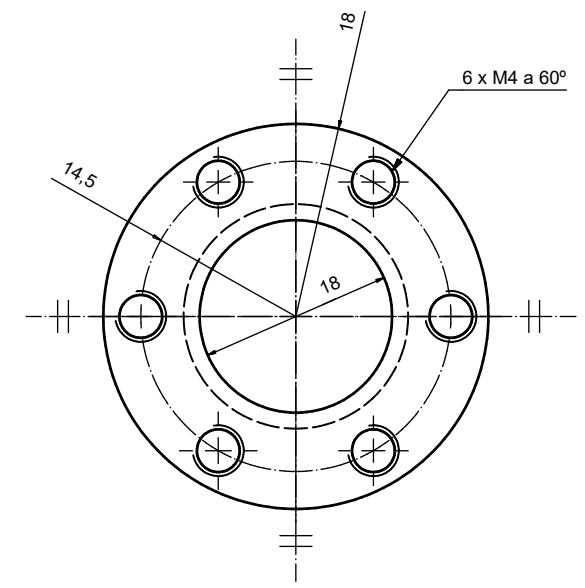
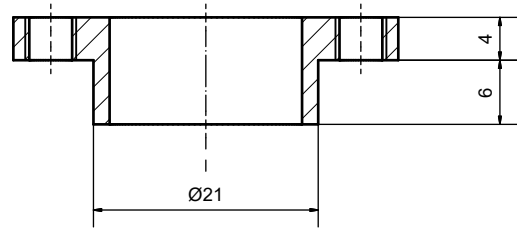
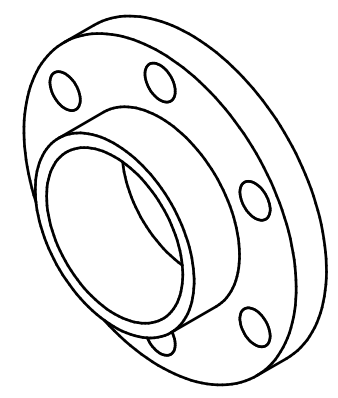


Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Soporte del tubo de entrada de vapor	23/68

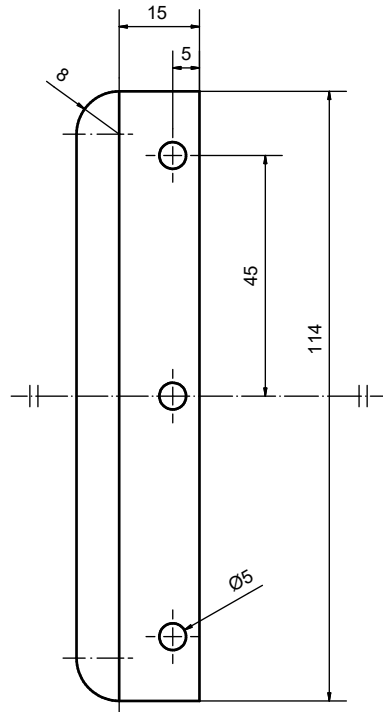
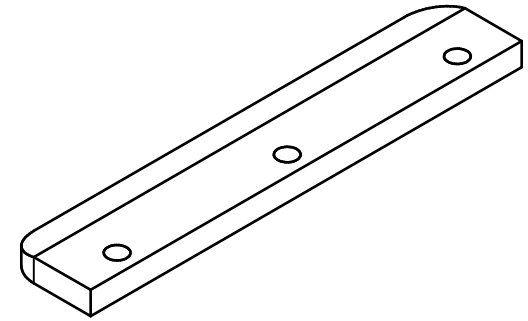
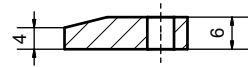


Espesor 2 mm

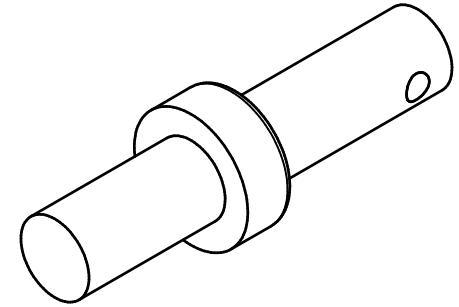
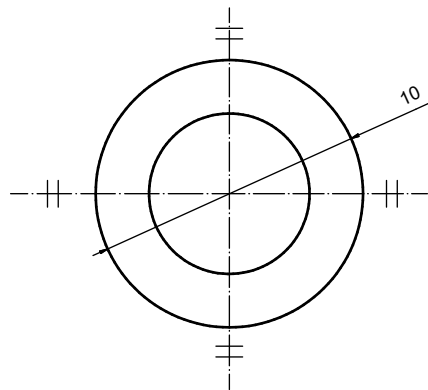
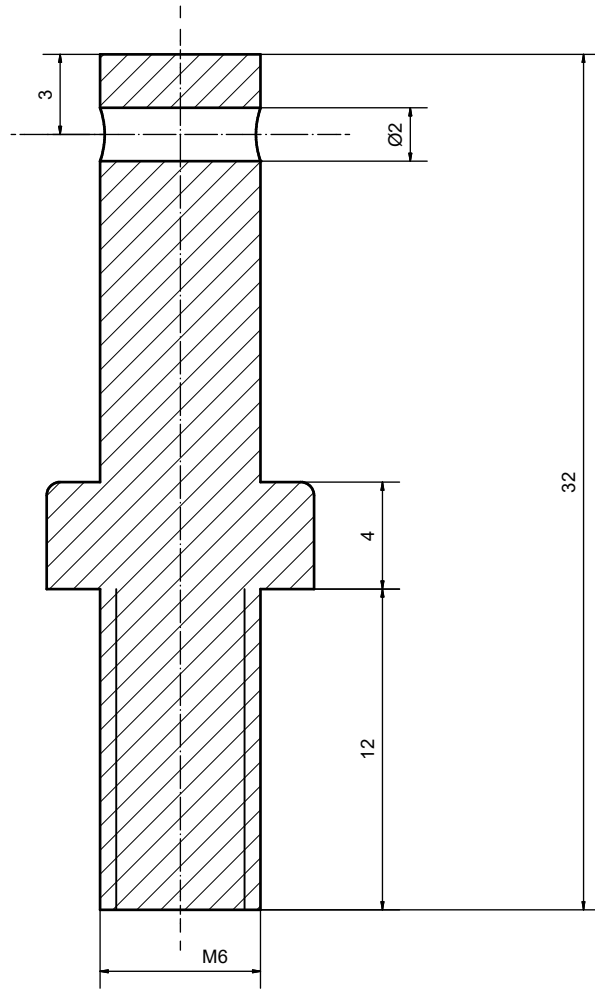
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Tubo de salida de vapor	24/68



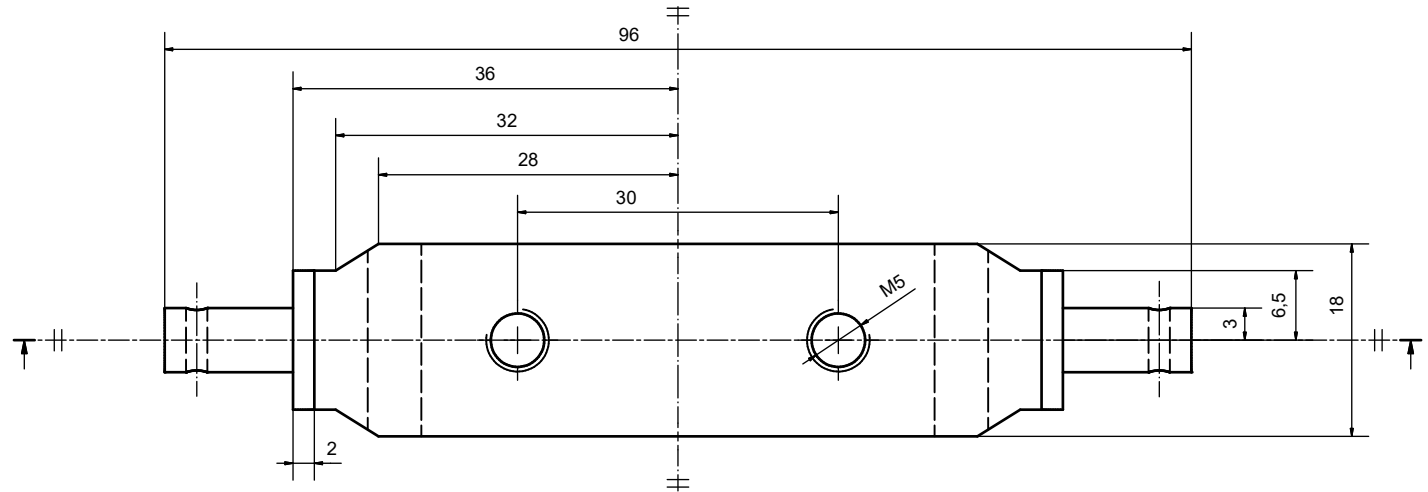
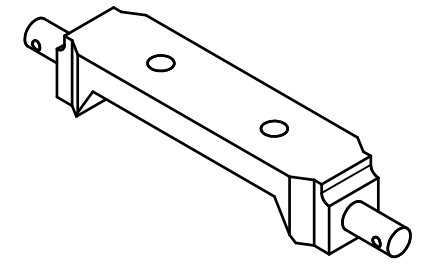
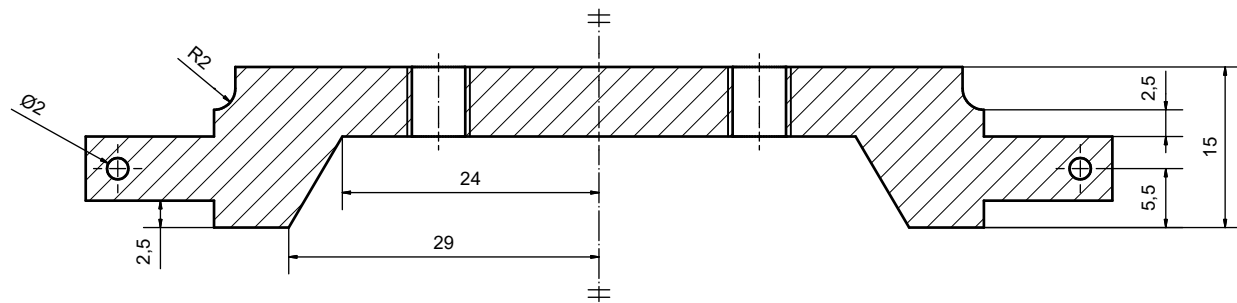
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Soporte del tubo de salida de vapor	25/68



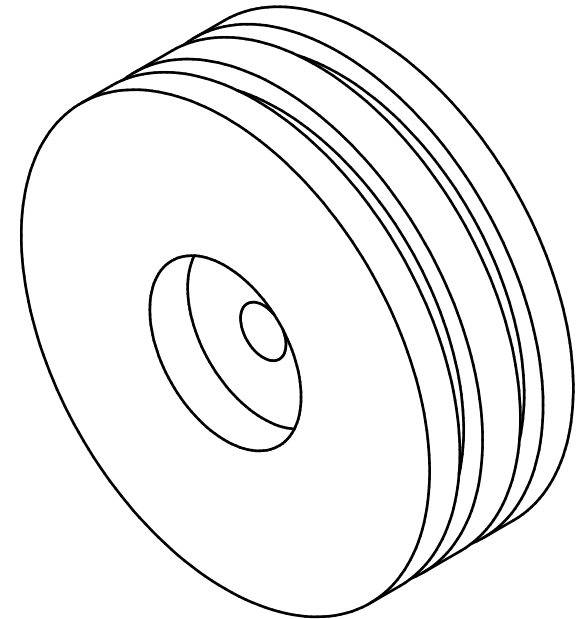
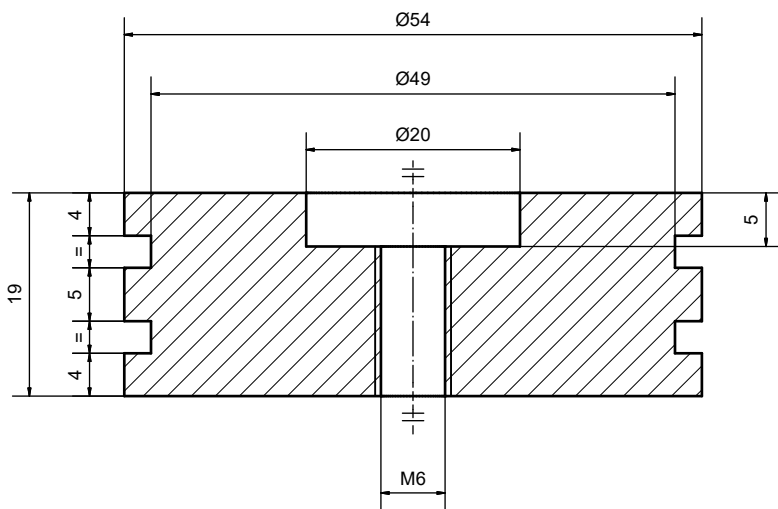
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
1:1	Tope de la guía corredera	26/68



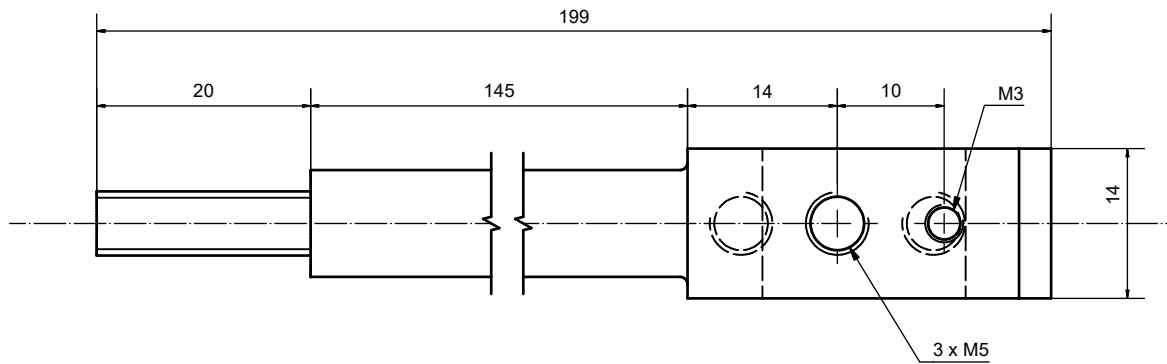
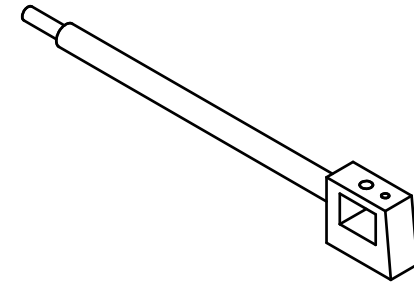
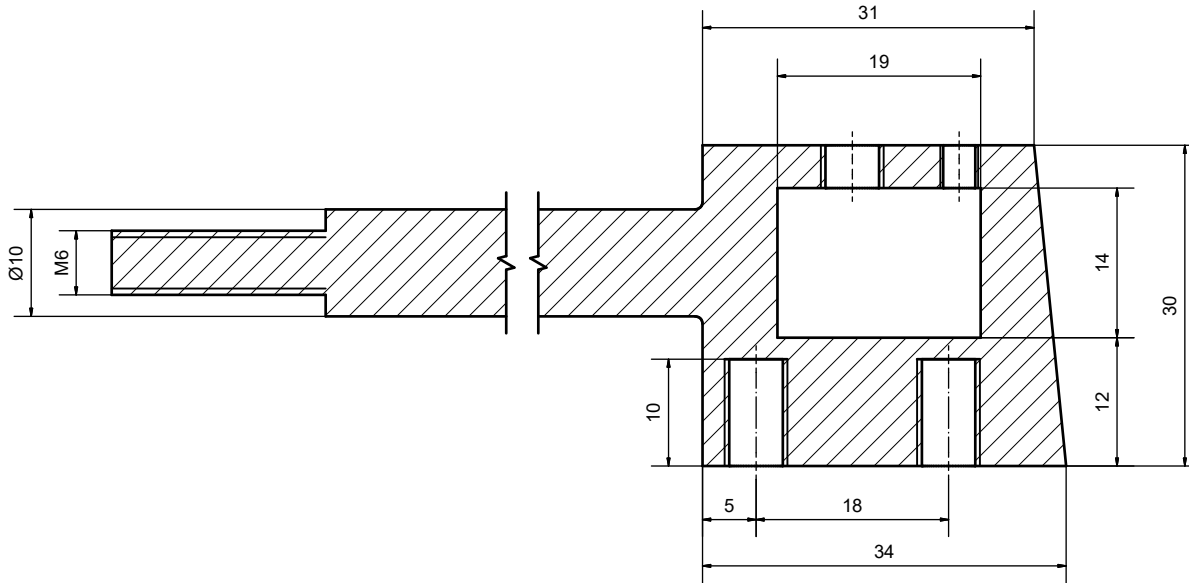
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
5:1	Eje oscilante inferior del husillo de revolución	27/68



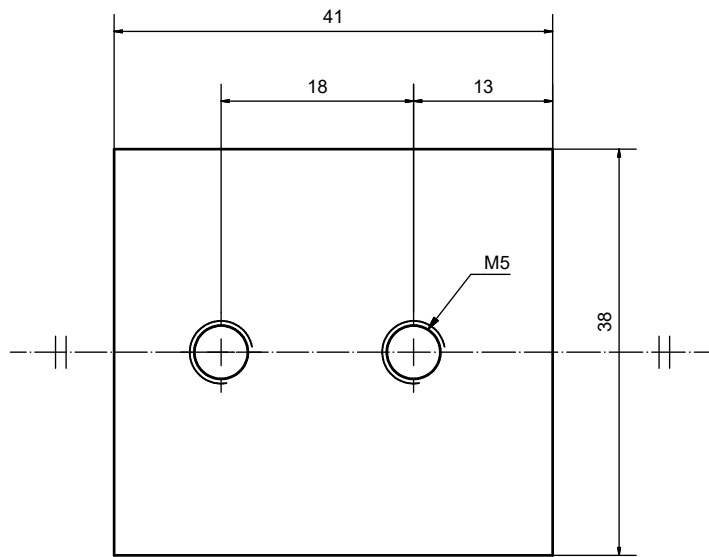
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Soporte de la varilla excéntrica	28/68



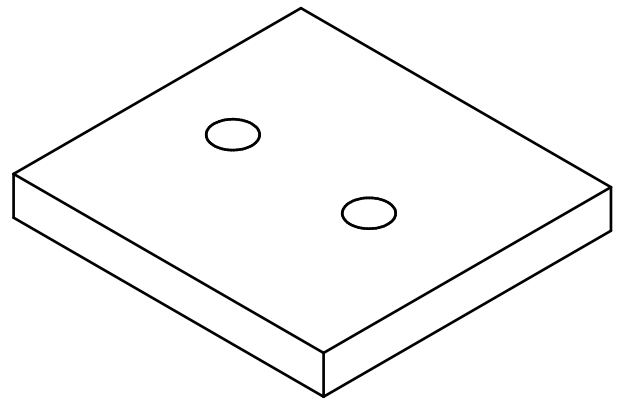
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Pistón	29/68



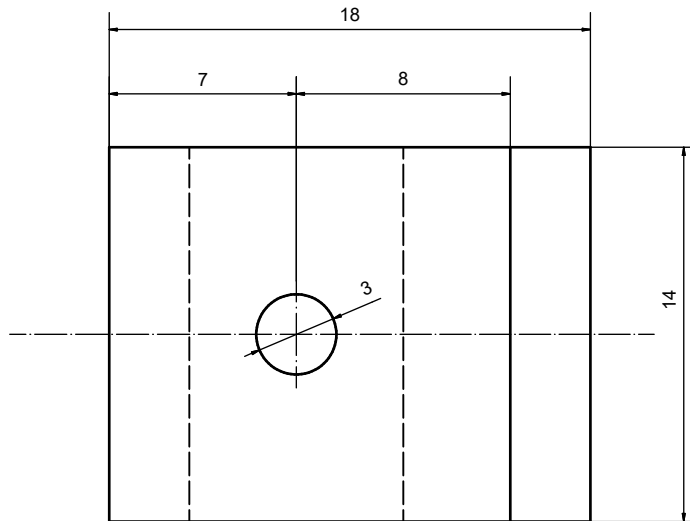
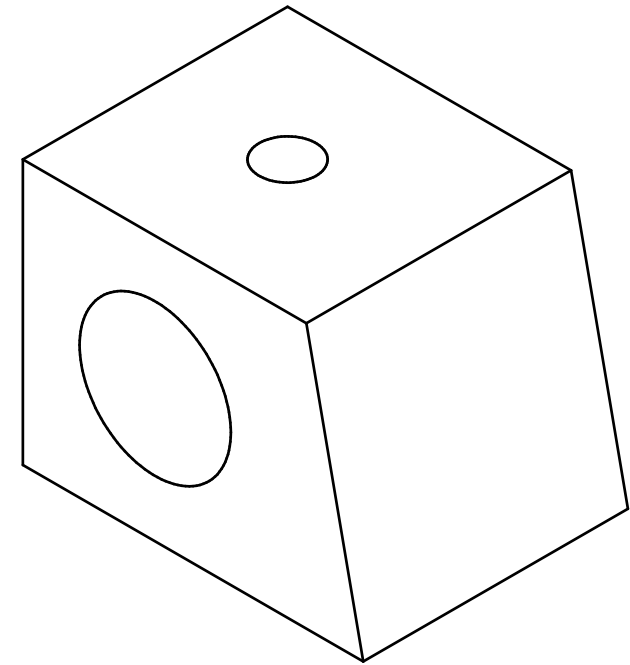
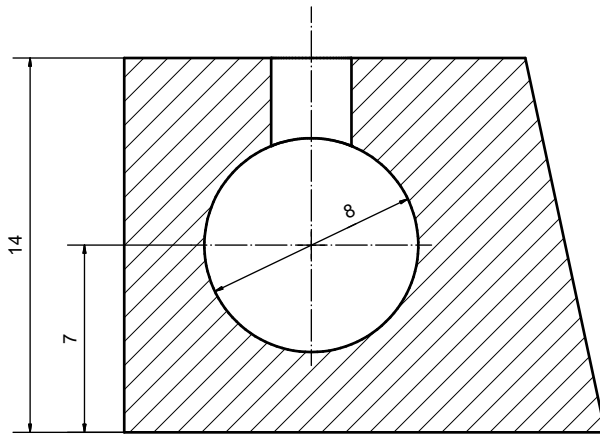
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Varilla del pistón	30/68



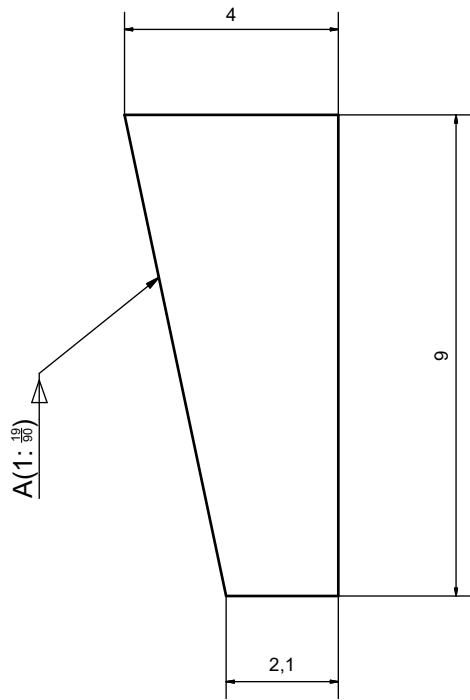
Espeor 5 mm



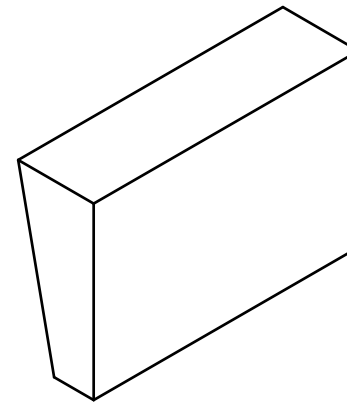
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Base de la cruceta	31/68



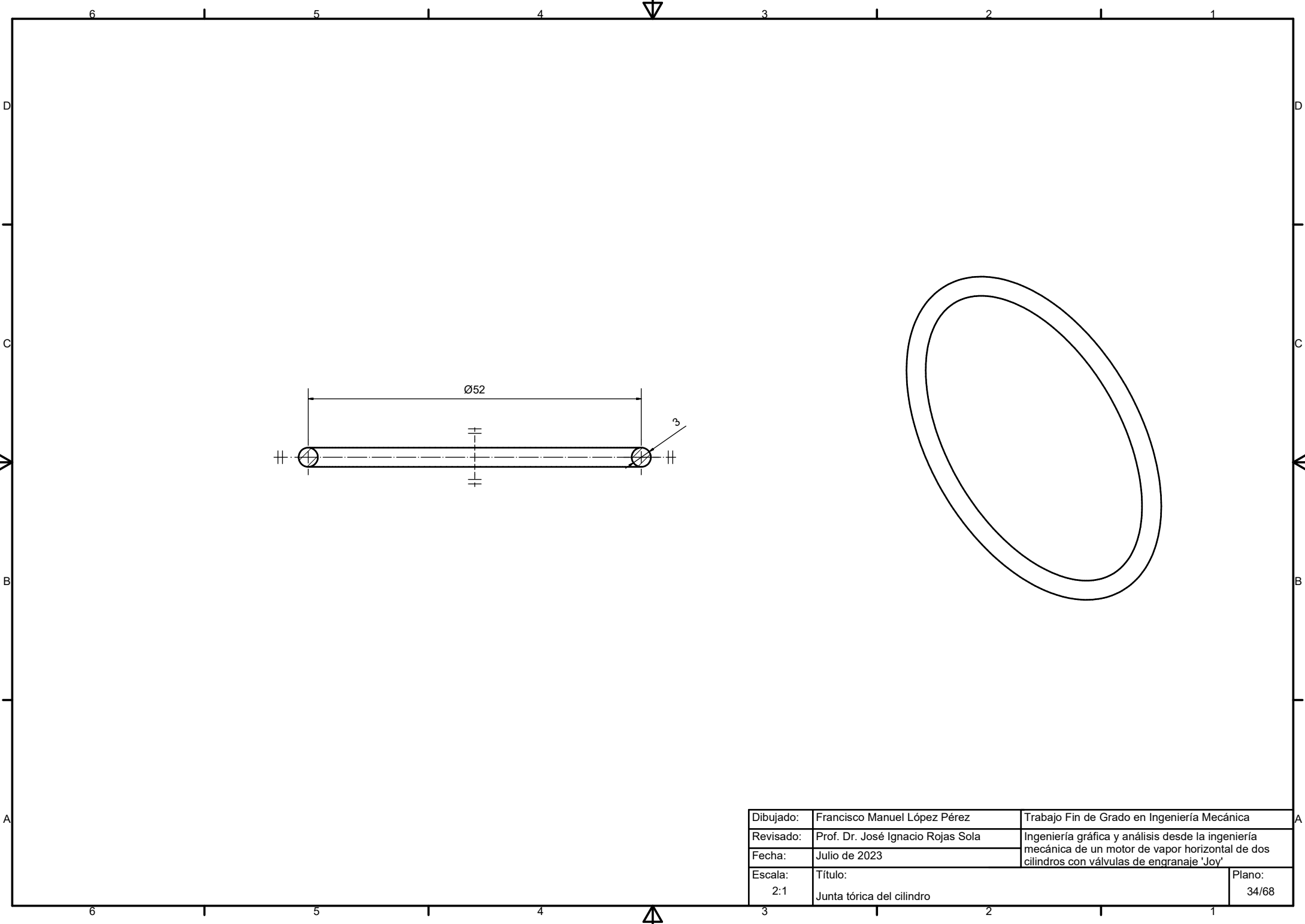
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
5:1	Cruceta	32/68



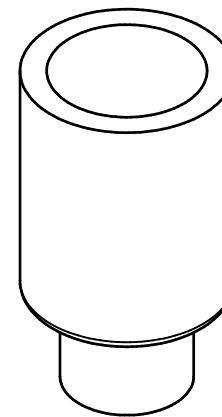
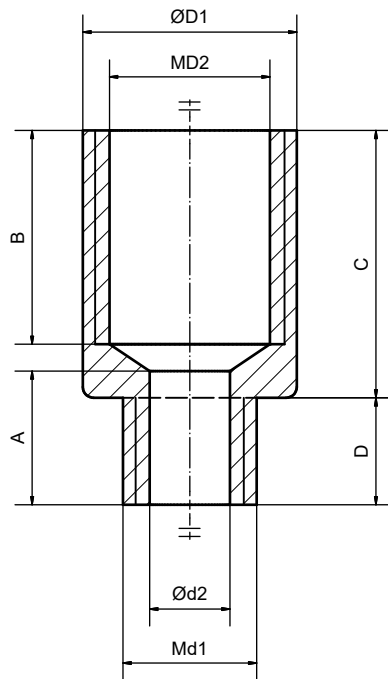
Espesor 14 mm



Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
10:1	Cuña de la cruceta	33/68

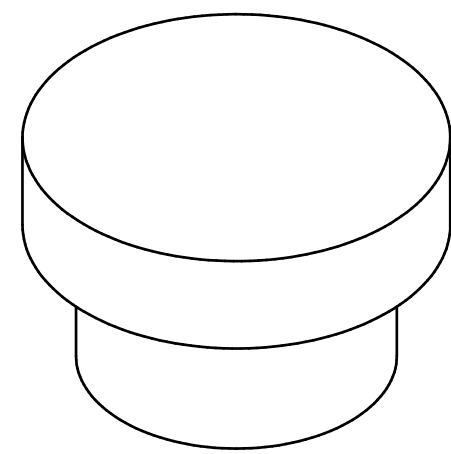
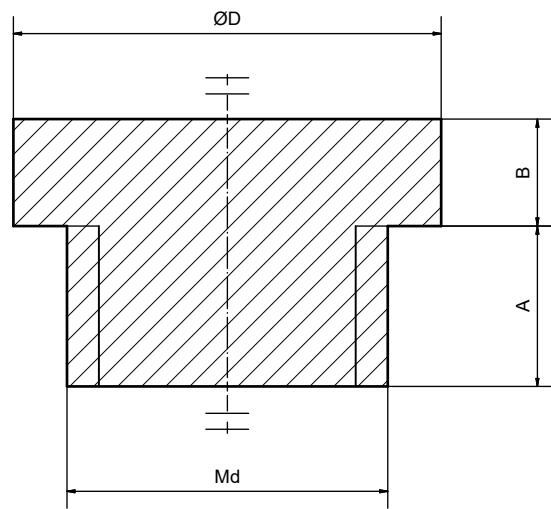


Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Junta tórica del cilindro	34/68



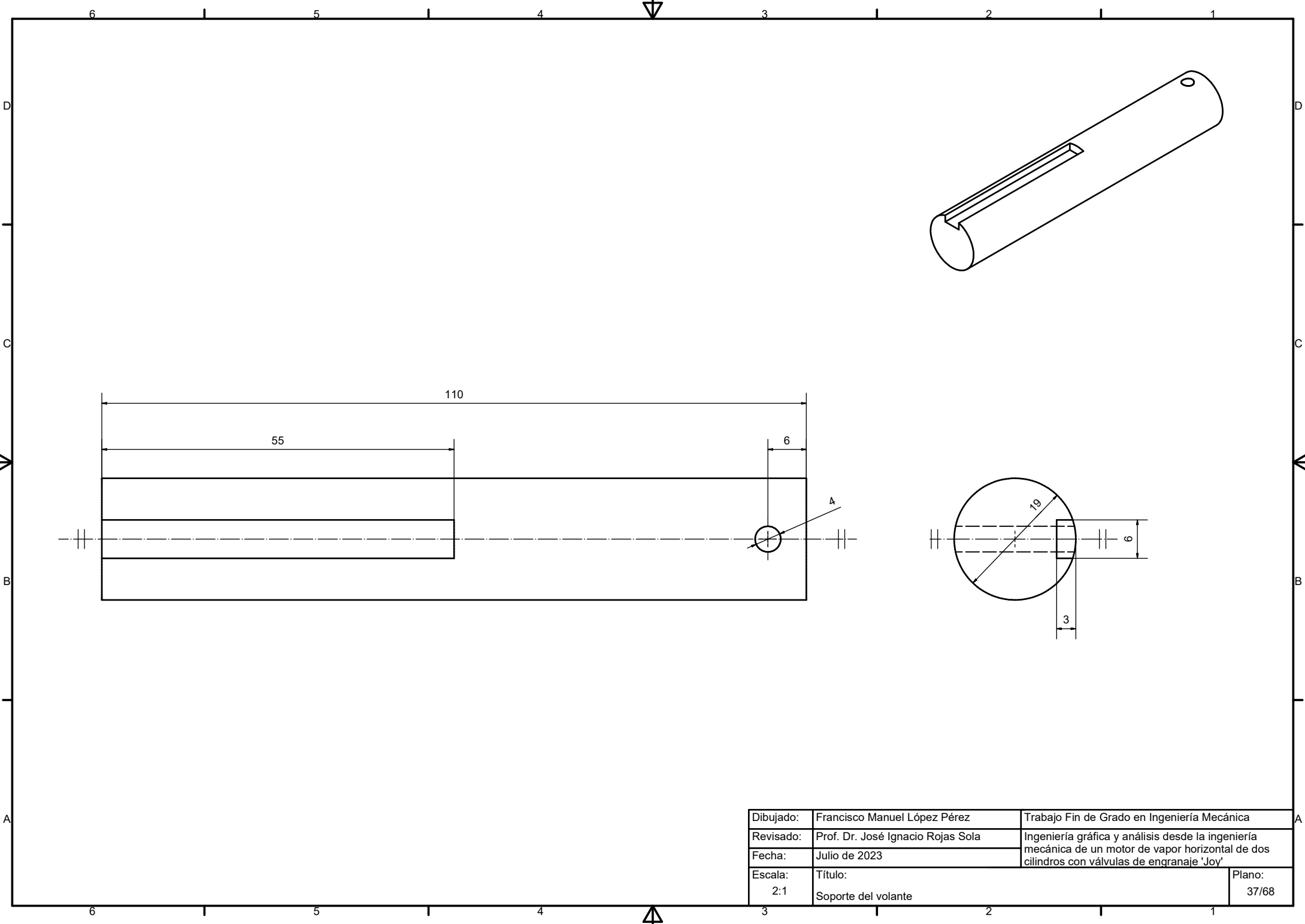
Dimensiones en mm

26	Engrasador de la biela	11	8	5	3	6	12	14	5
57	Engrasador de la cruceta	8	6	5	3	5	8	10	4
Marca	Denominación	D1	D2	d1	d2	A	B	C	D
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica							
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'							
Fecha:	Julio de 2023								
Escala:	Título:							Plano:	
5:1	Engrasadores							35/68	

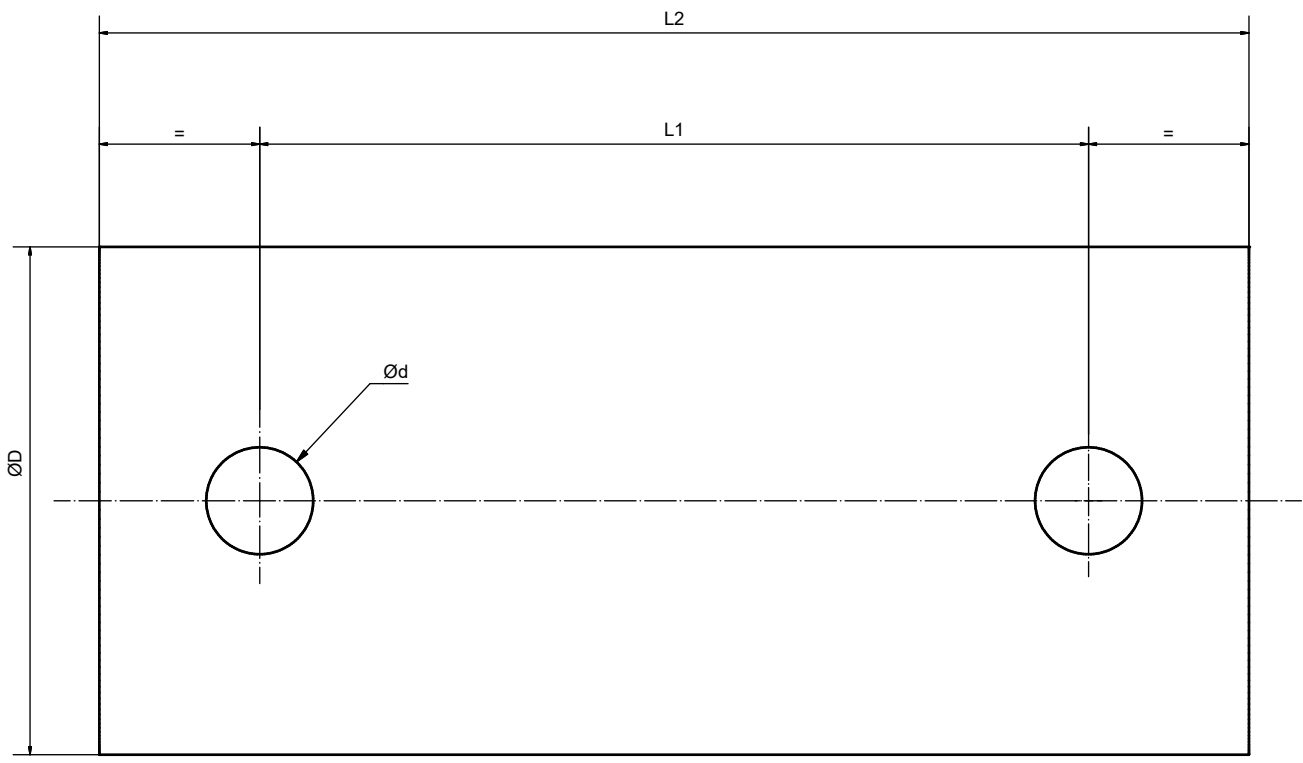
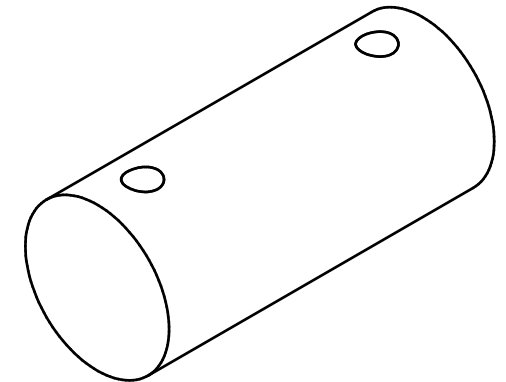


Dimensiones en mm

25	Tapón del engrasador de la biela	11	8	3	2
57	Tapón del engrasador de la cruceta	8	6	3	2
Marca	Denominación	D	d	A	B
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica			
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'			
Fecha:	Julio de 2023				
Escala:	Título:	Tapones de los engrasadores			Plano:
10:1					36/68

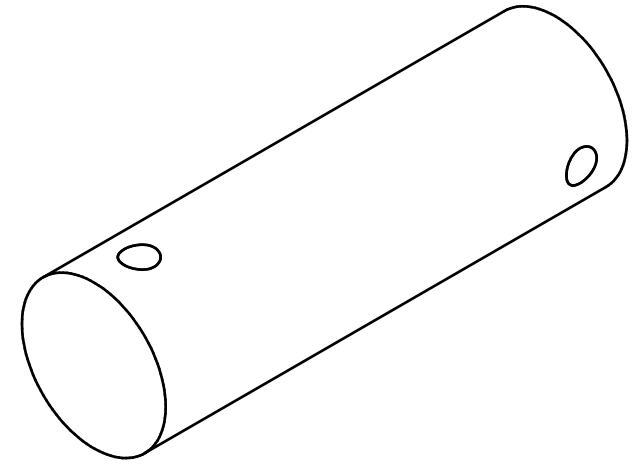
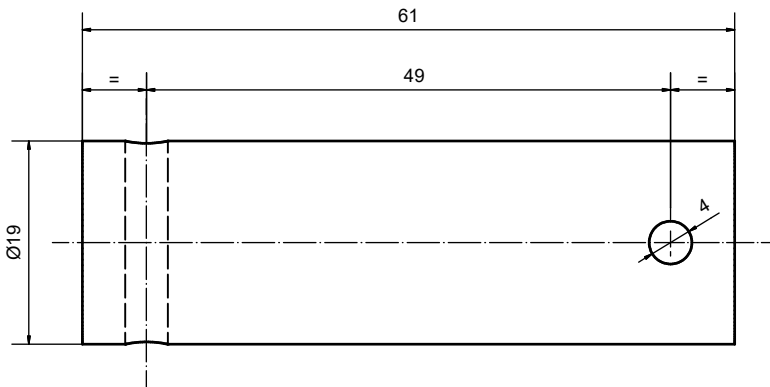


Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Soporte del volante	37/68

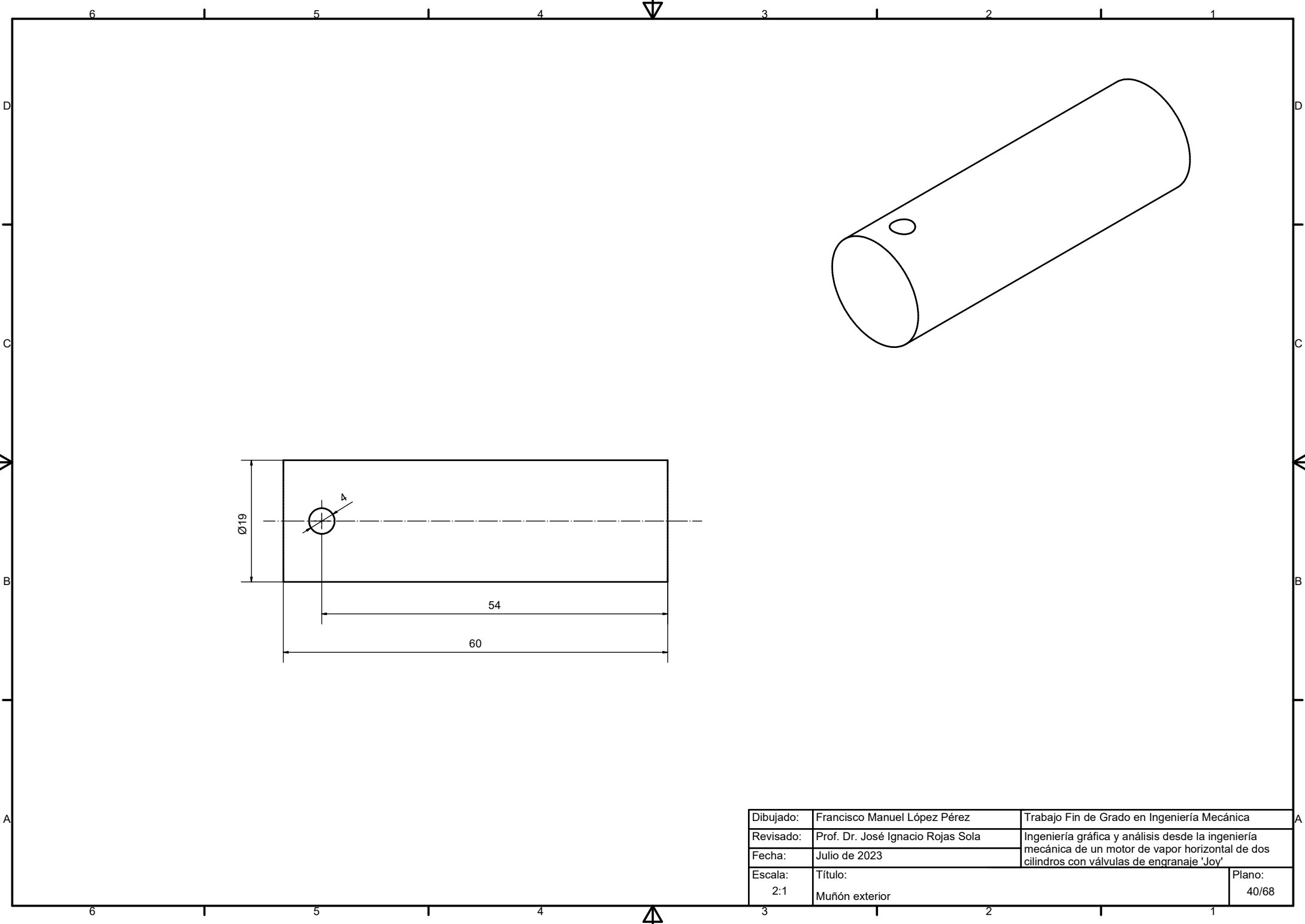


Dimensiones en mm

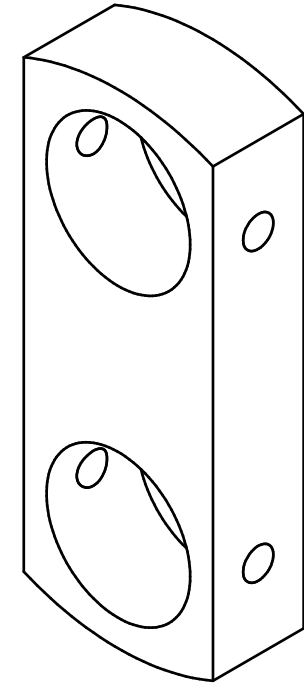
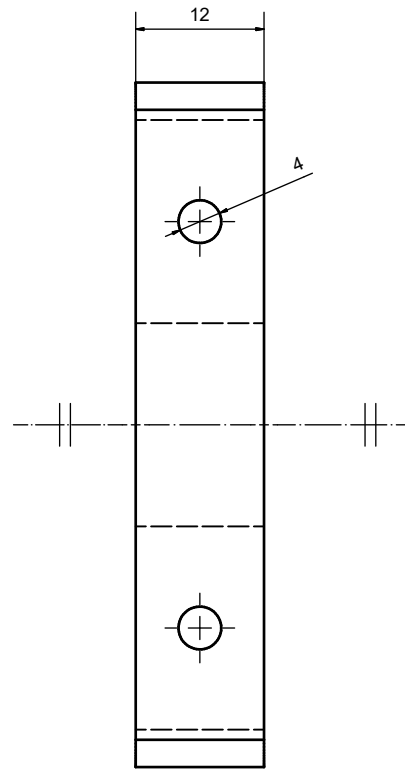
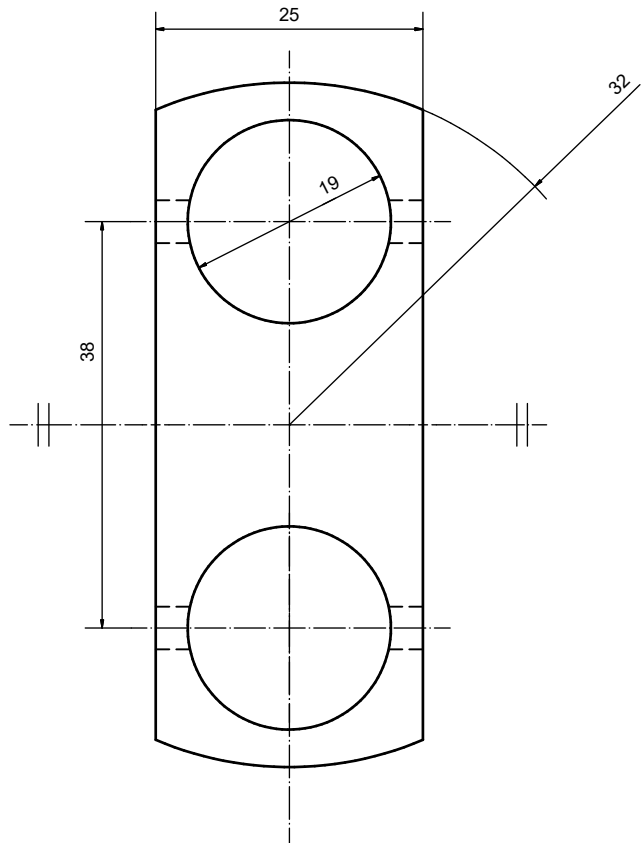
81	Pasador III de la palanca superior de la válvula Joy	5	2	22	27
80	Pasador II de la palanca inferior de la válvula Joy	5	2	16	21
61	Codo de la biela	19	4	31	43
Marca	Denominación	D	d	L1	L2
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica			
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'			
Fecha:	Julio de 2023				
Escala:	Título:	Codos y pasadores			Plano:
5:1					38/68



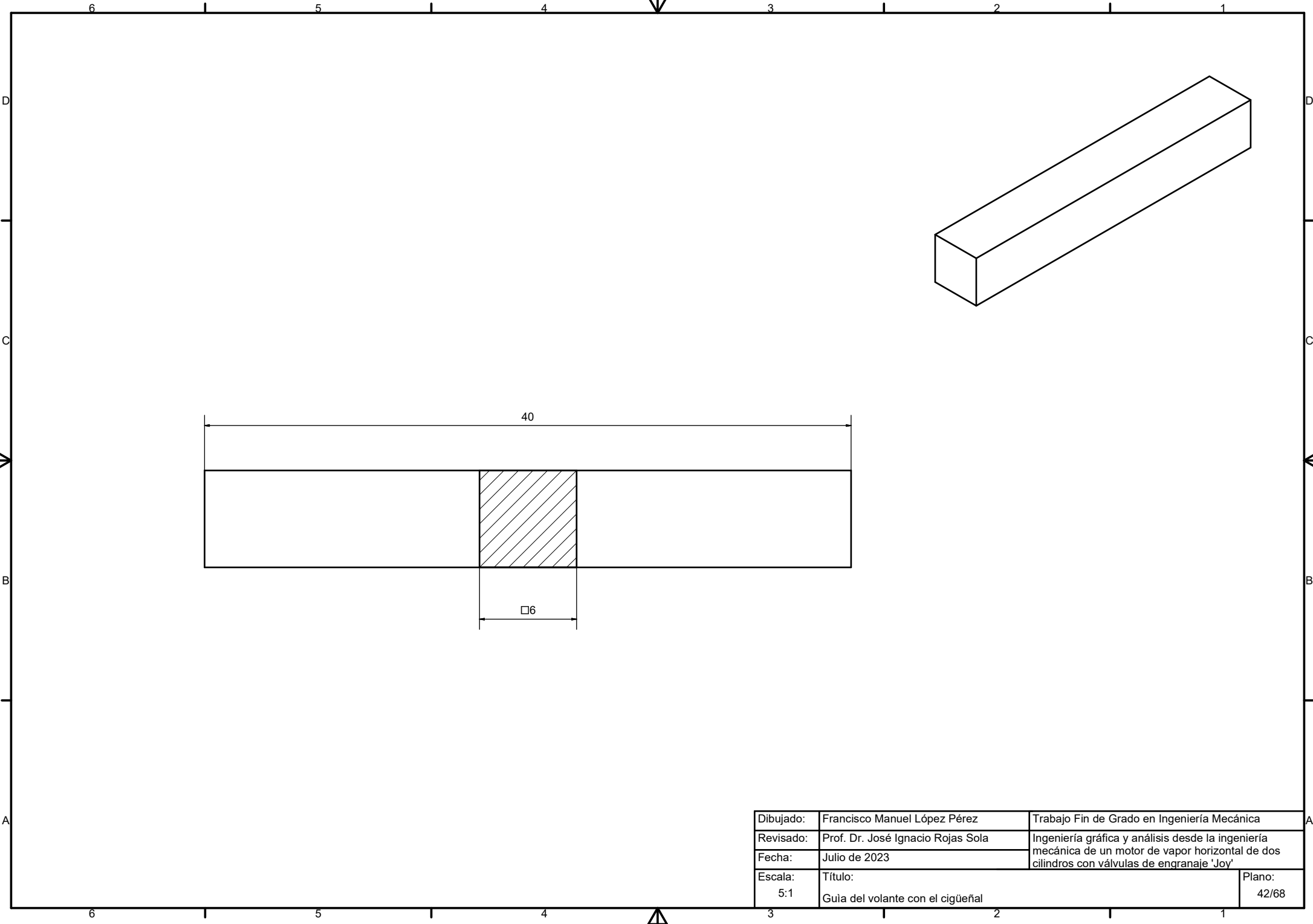
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Muñón central	39/68



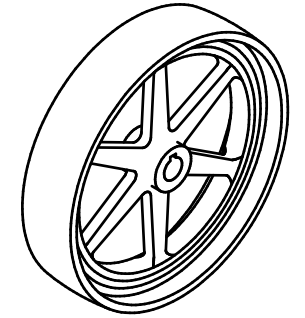
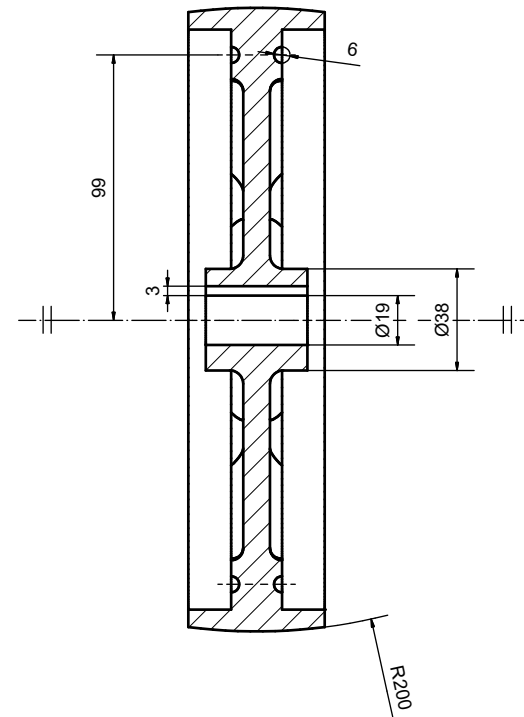
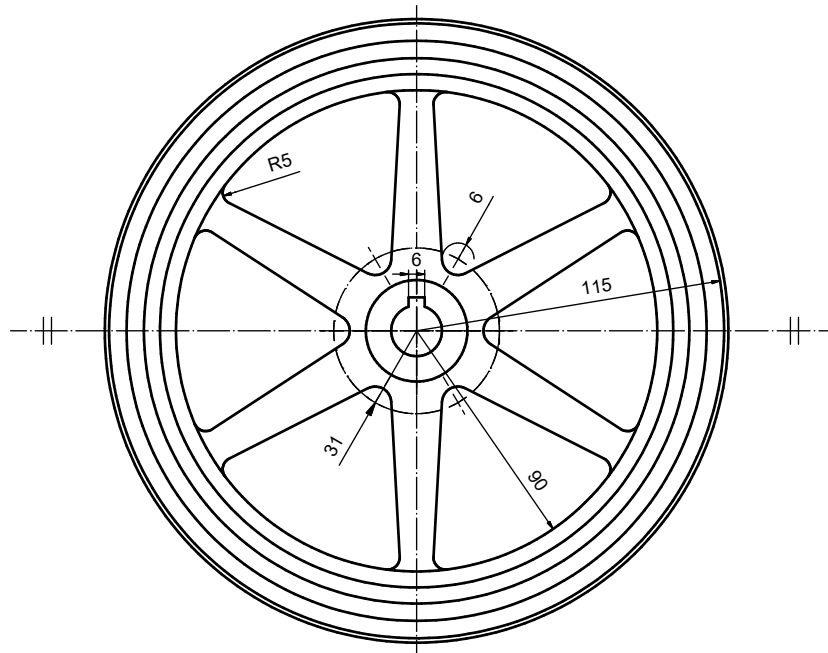
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Muñón exterior	40/68



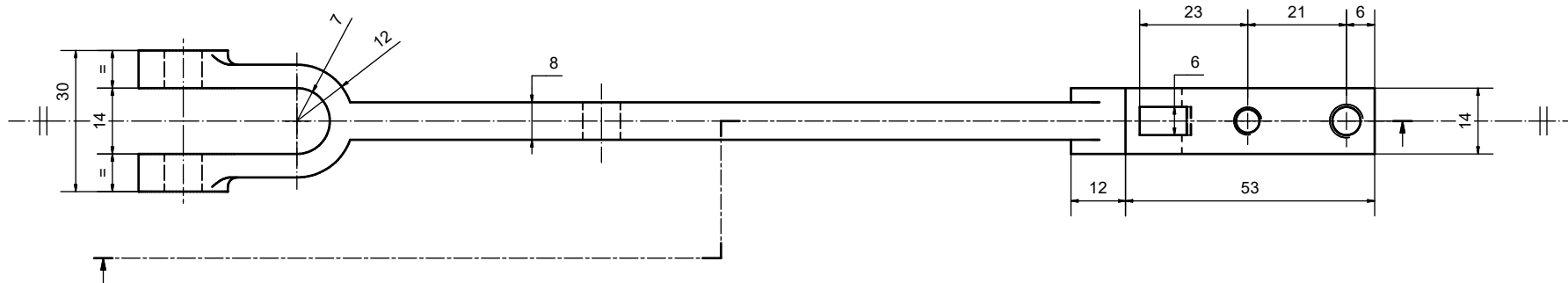
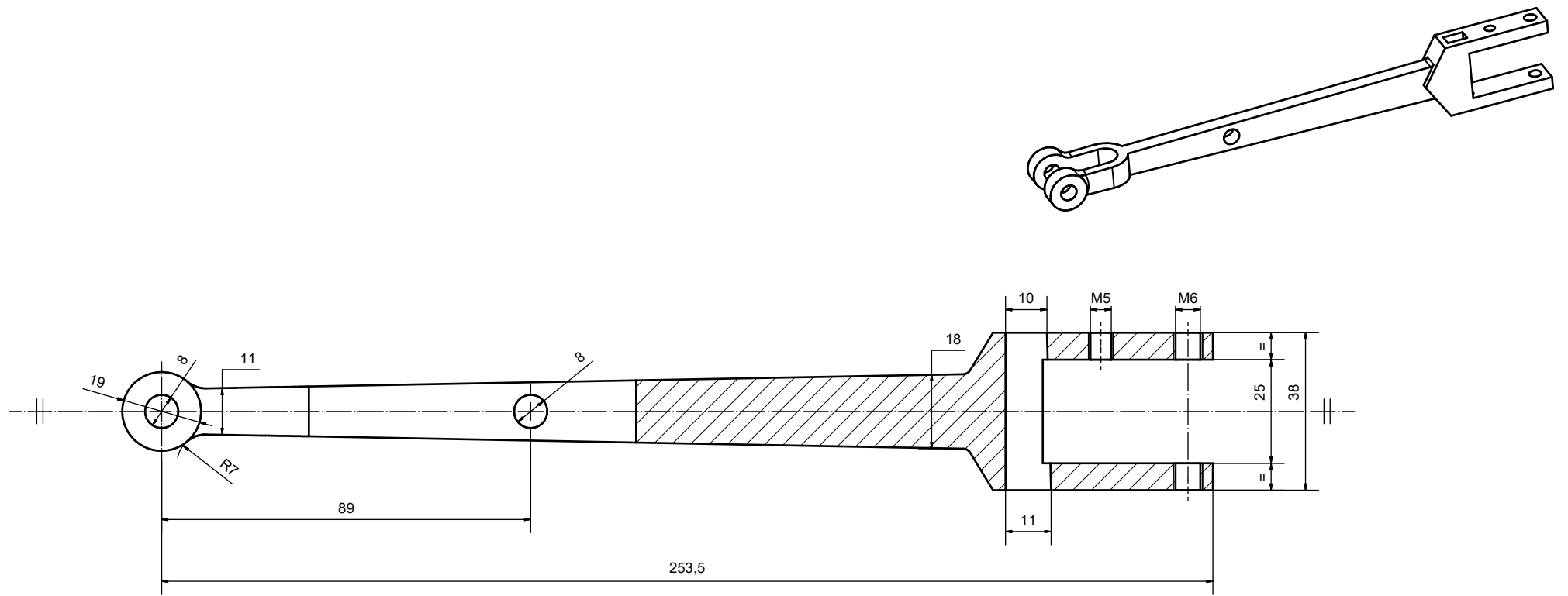
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Cachete	41/68



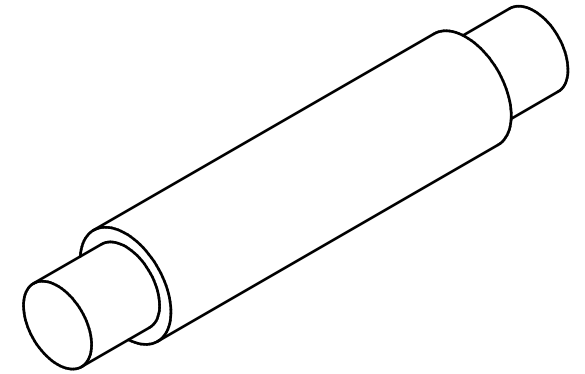
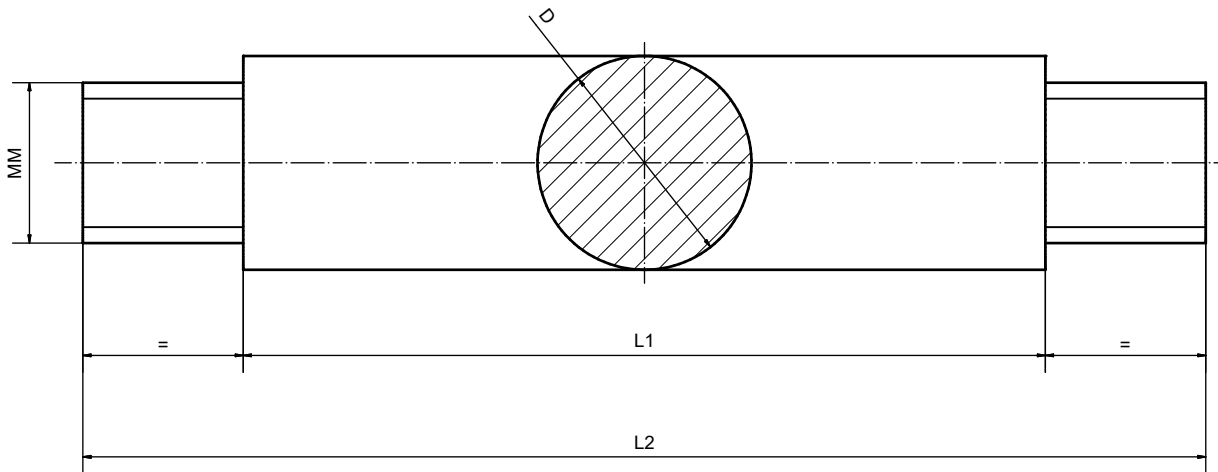
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
5:1	Guía del volante con el cigüeñal	42/68



Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
1:2	Volante	43/68

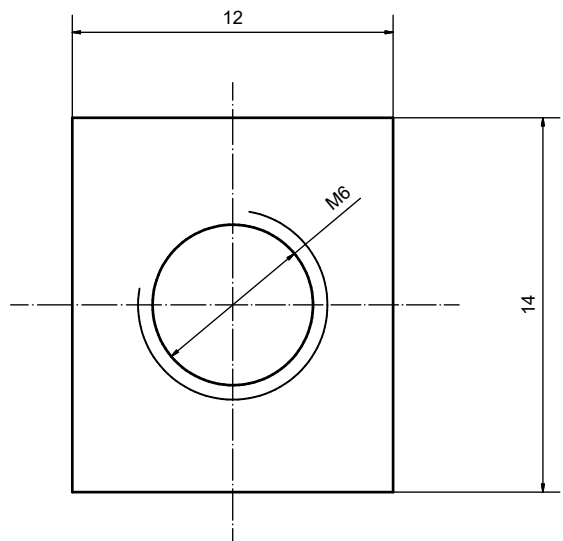


Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
1:1	Biela	44/68

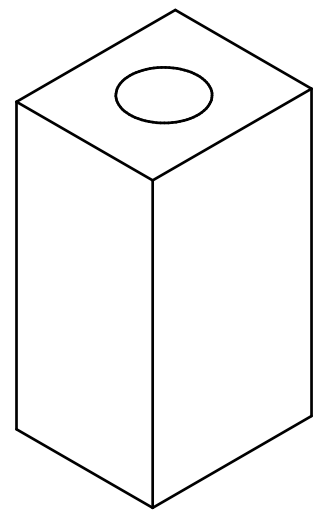


Dimensiones en mm

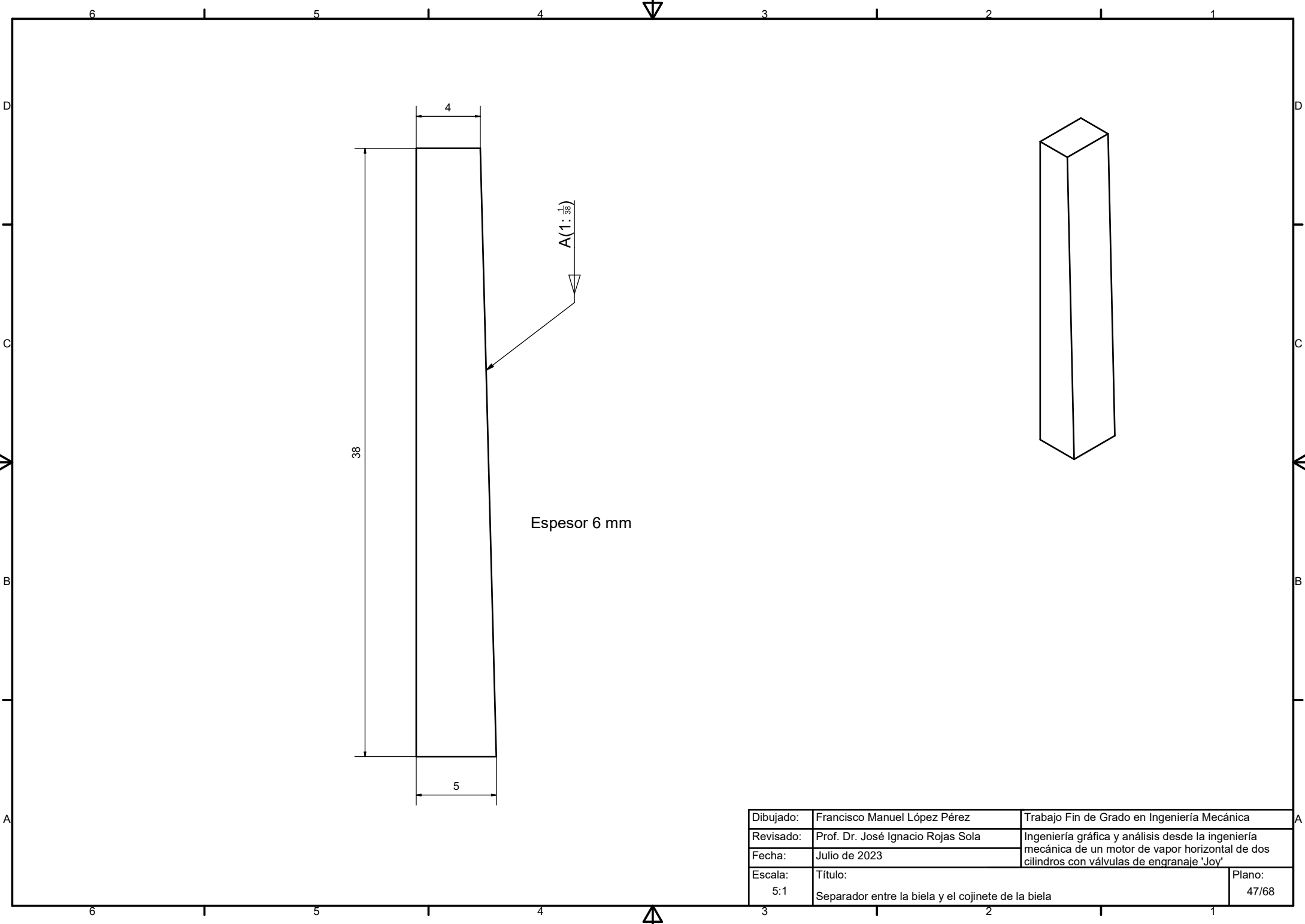
83	Vástago del eje de la válvula Joy	6	4	19	27
82	Vástago del pie de la biela	8	6	30	42
Marca	Denominación	D	M	L1	L2
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica			
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'			
Fecha:	Julio de 2023				
Escala:	Título:	Vástagos roscados			Plano:
5:1					45/68



Espesor 25 mm

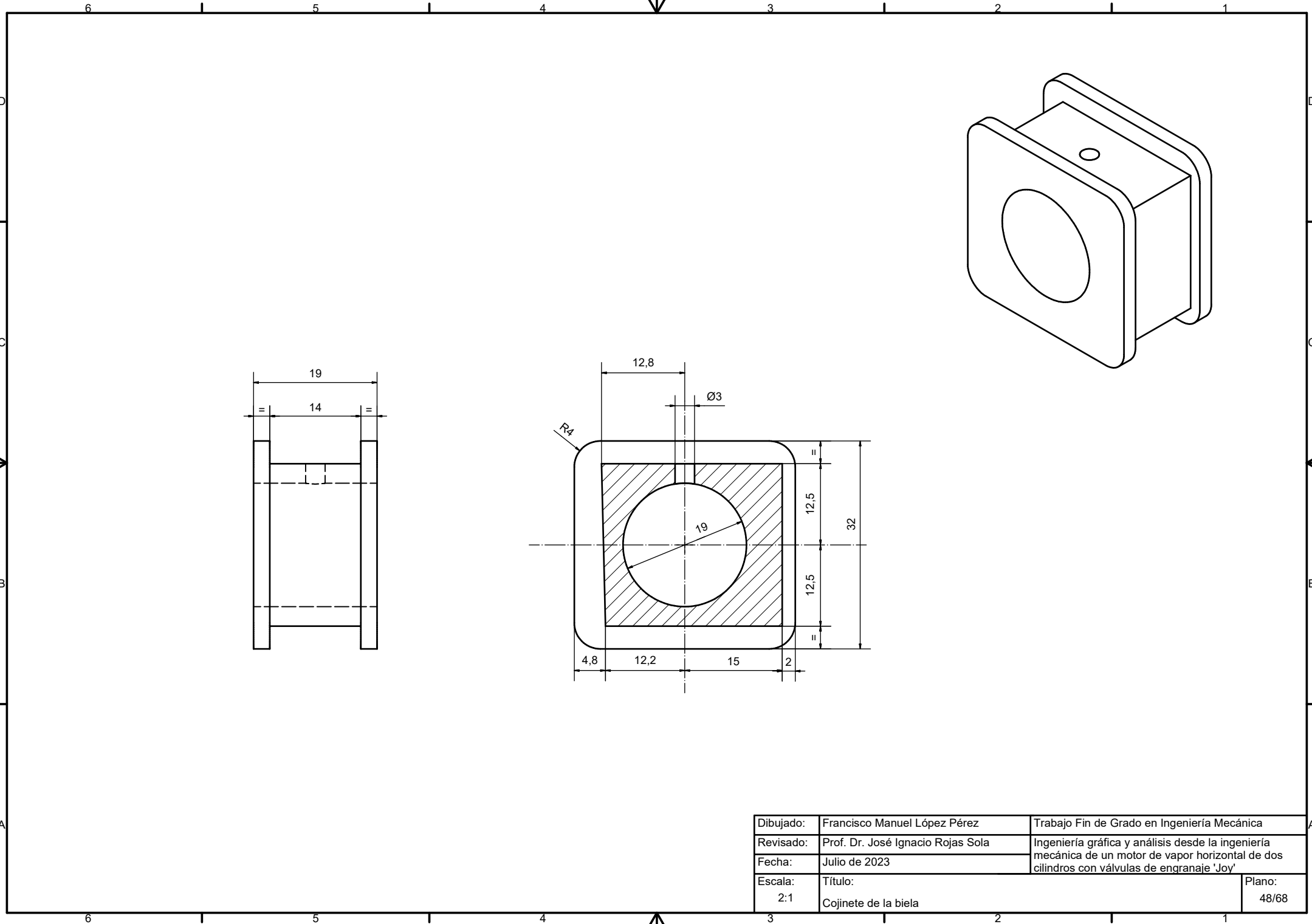


Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
5:1	Pasador de la cabeza de la biela	46/68

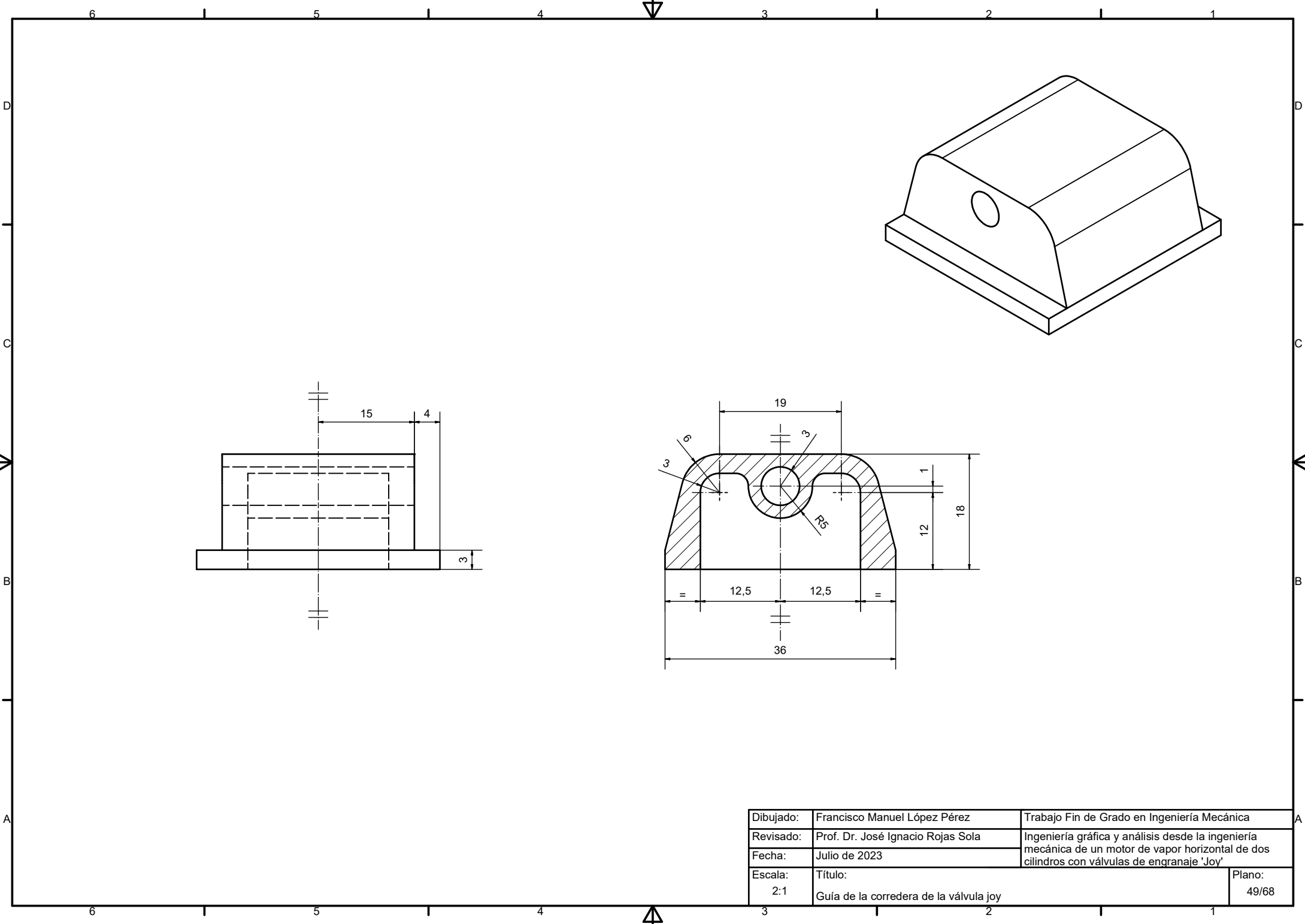


Espesor 6 mm

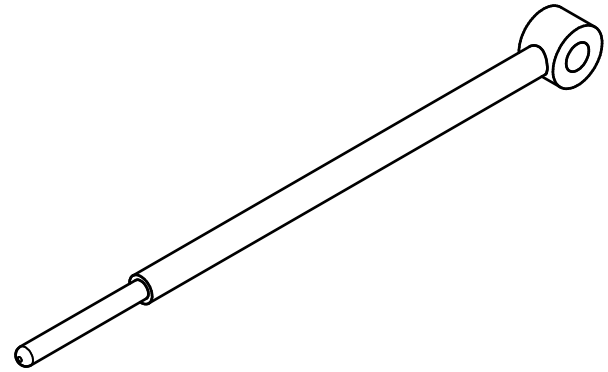
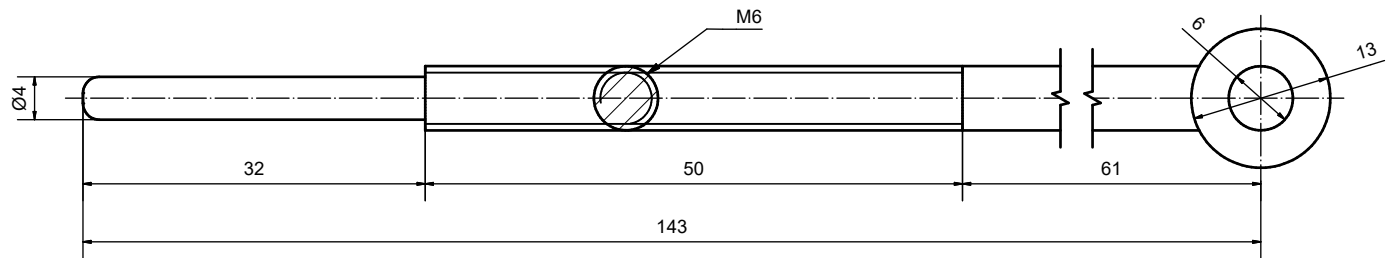
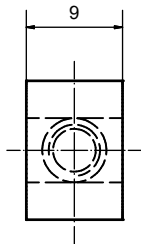
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
5:1	Separador entre la biela y el cojinete de la biela	47/68



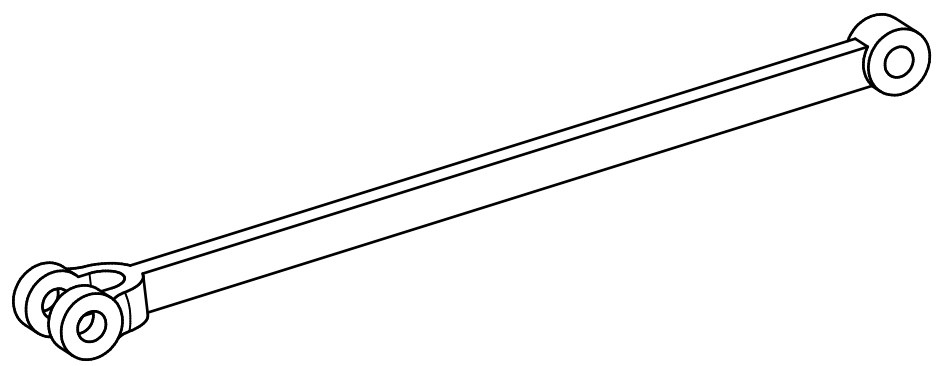
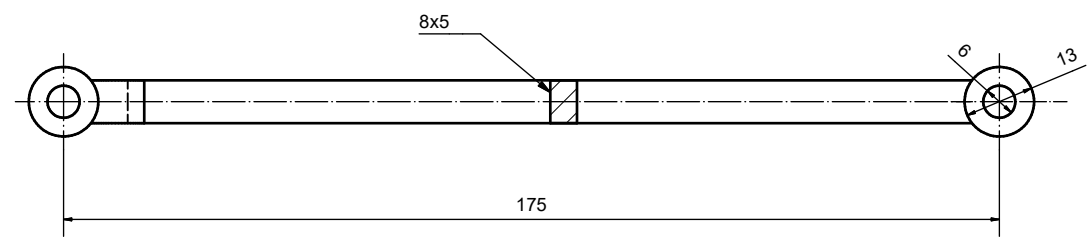
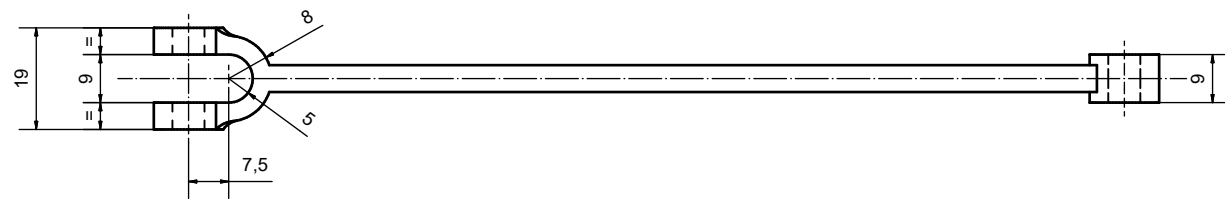
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Cojinete de la biela	48/68



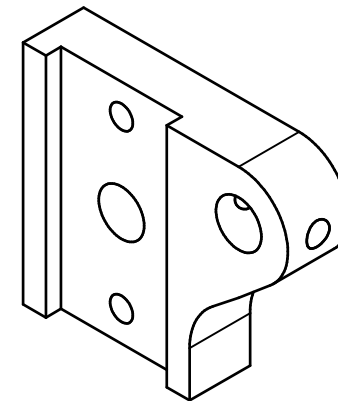
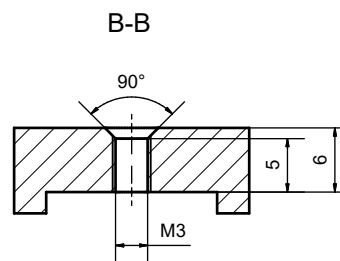
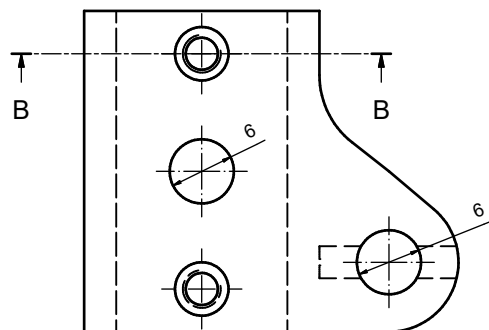
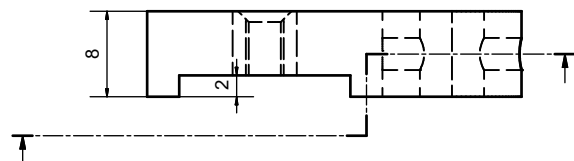
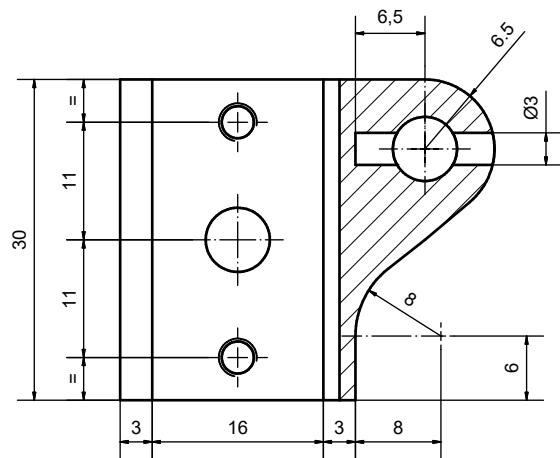
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Guía de la corredera de la válvula joy	49/68



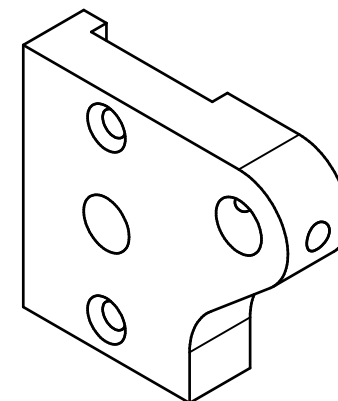
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Eje de la válvula corredera	50/68



Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
1:1	Eje de la válvula Joy	51/68

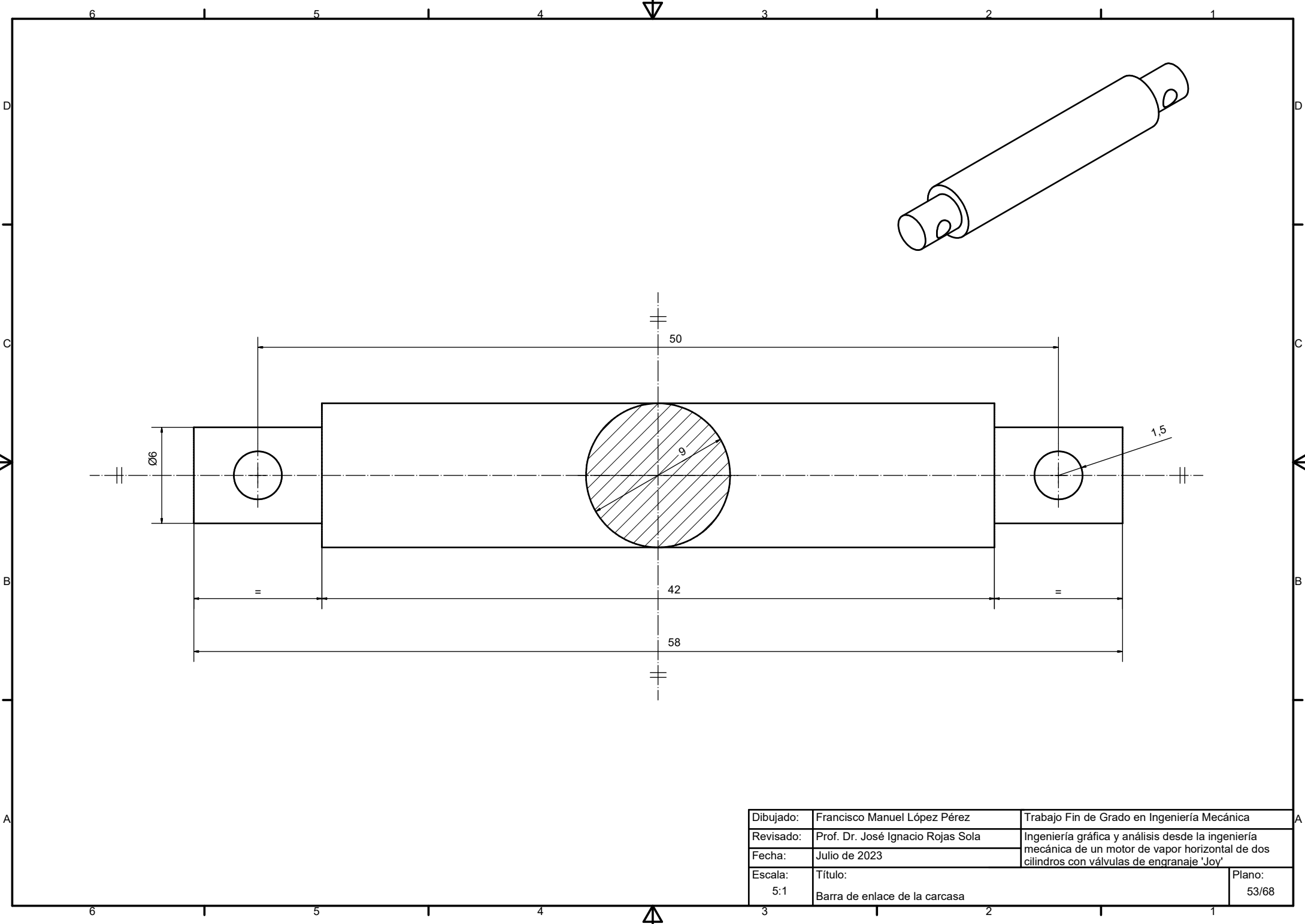


Carcasa derecha

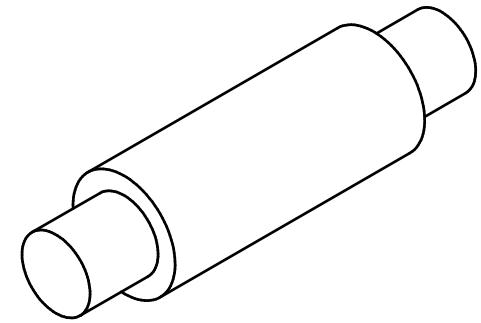
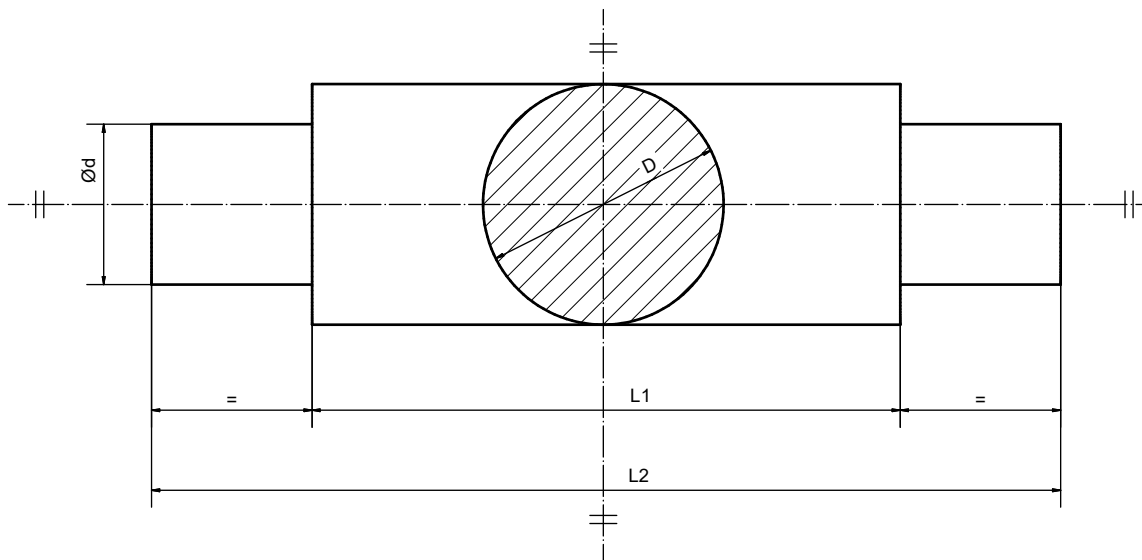


Carcasa izquierda  
Espejular de la acotada

Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Carcasas del enlace de expansión	52/68

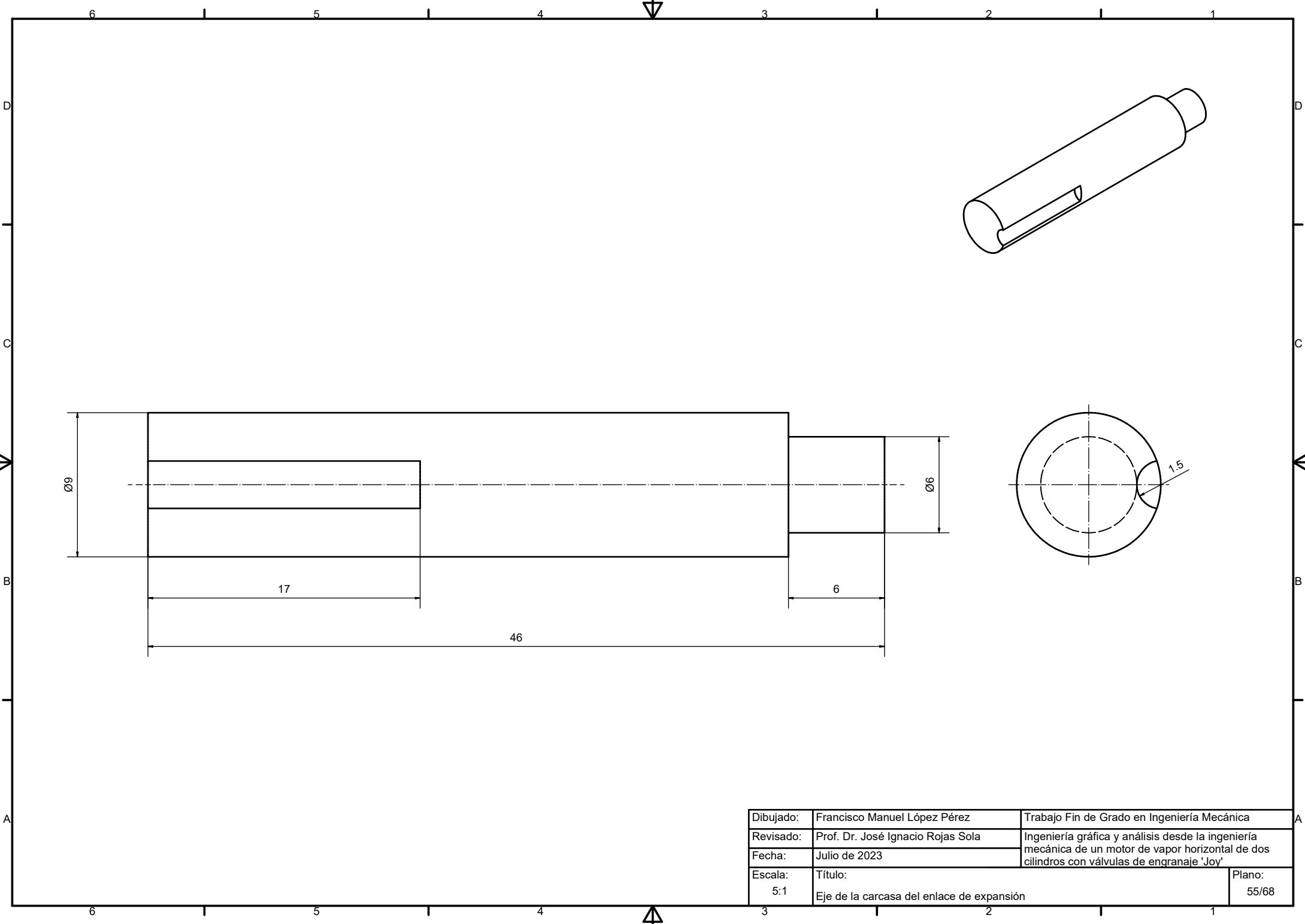


Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
5:1	Barra de enlace de la carcasa	53/68

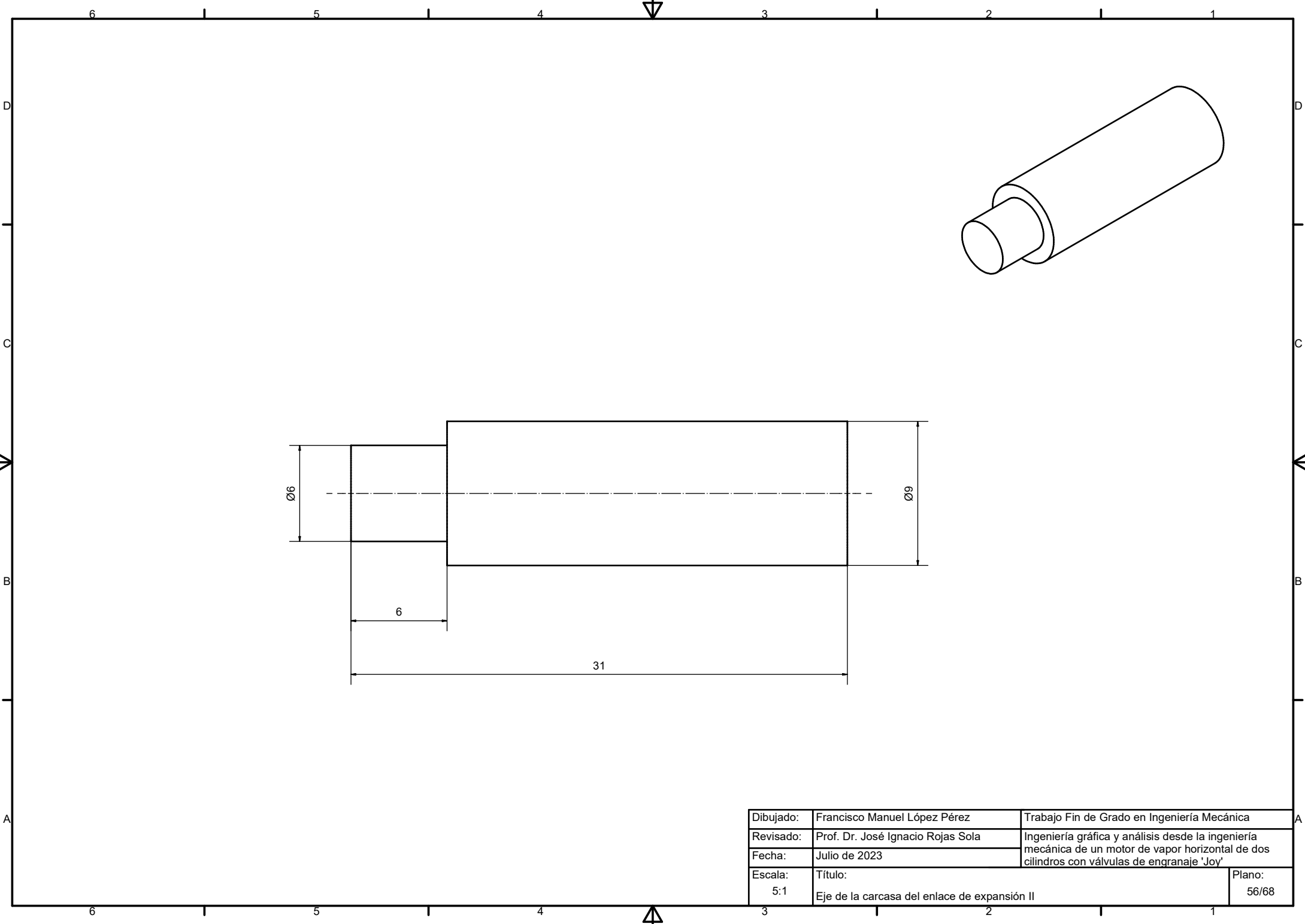


Dimensiones en mm

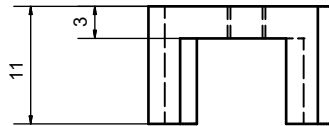
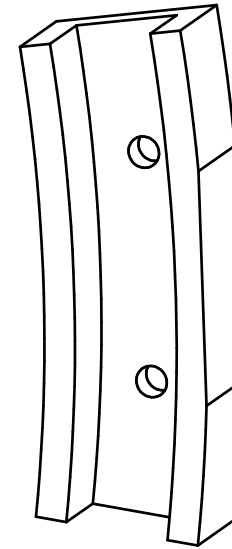
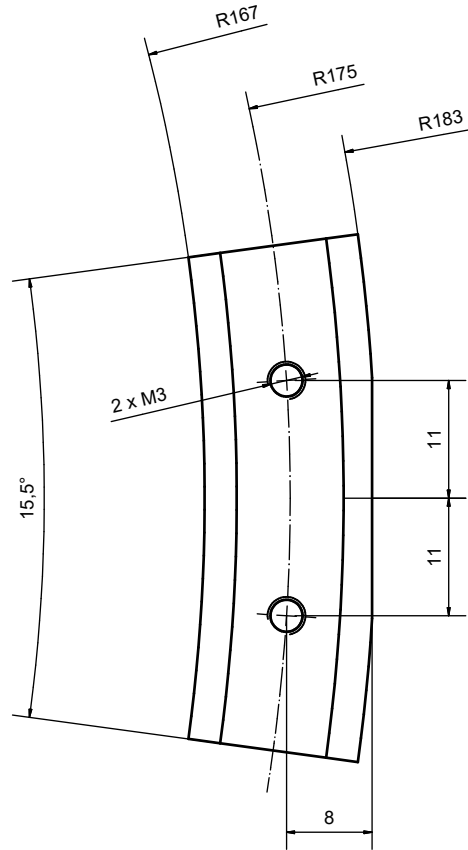
33	Barra de enlace de la palanca inferior de la válvula Joy	9	7	8	14
69	Barra de enlace de la carcasa II	9	6	22	34
Marca	Denominación	D	d	L1	L2
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica			
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'			
Fecha:	Julio de 2023				
Escala:	Título:	Barras de enlace			Plano:
5:1					54/68



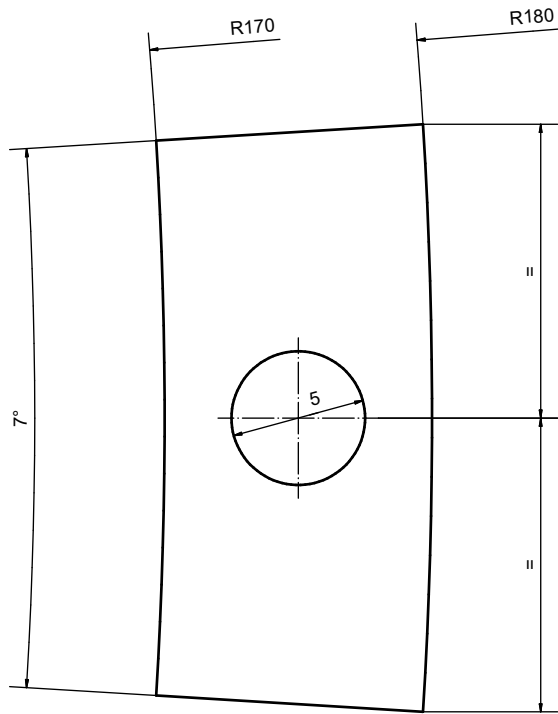
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
5:1	Eje de la carcasa del enlace de expansión	55/68



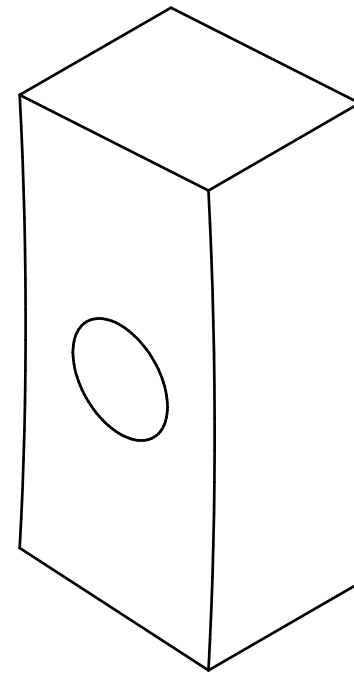
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
5:1	Eje de la carcasa del enlace de expansión II	56/68



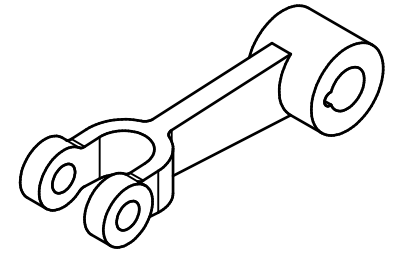
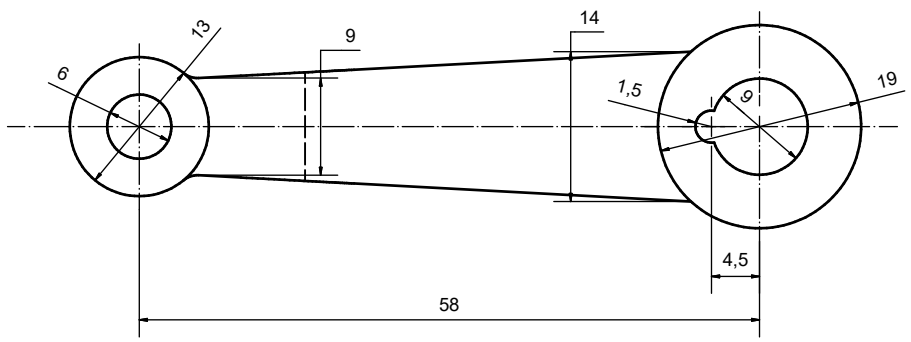
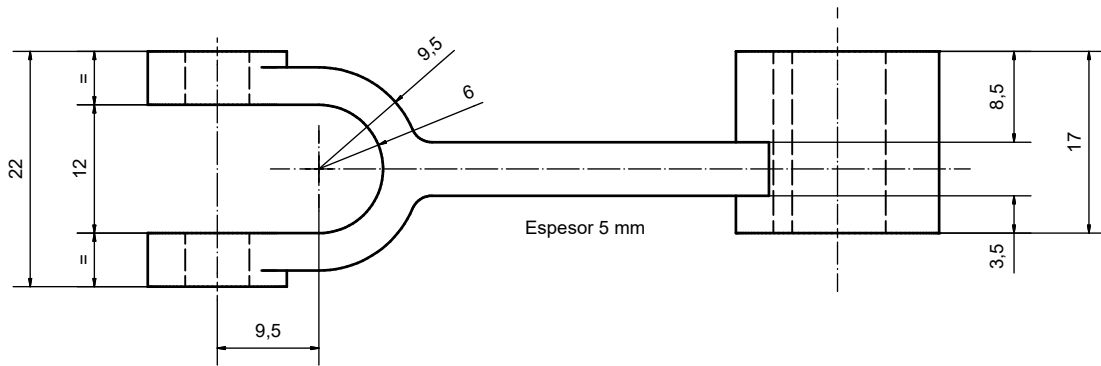
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Enlace de expansión	57/68



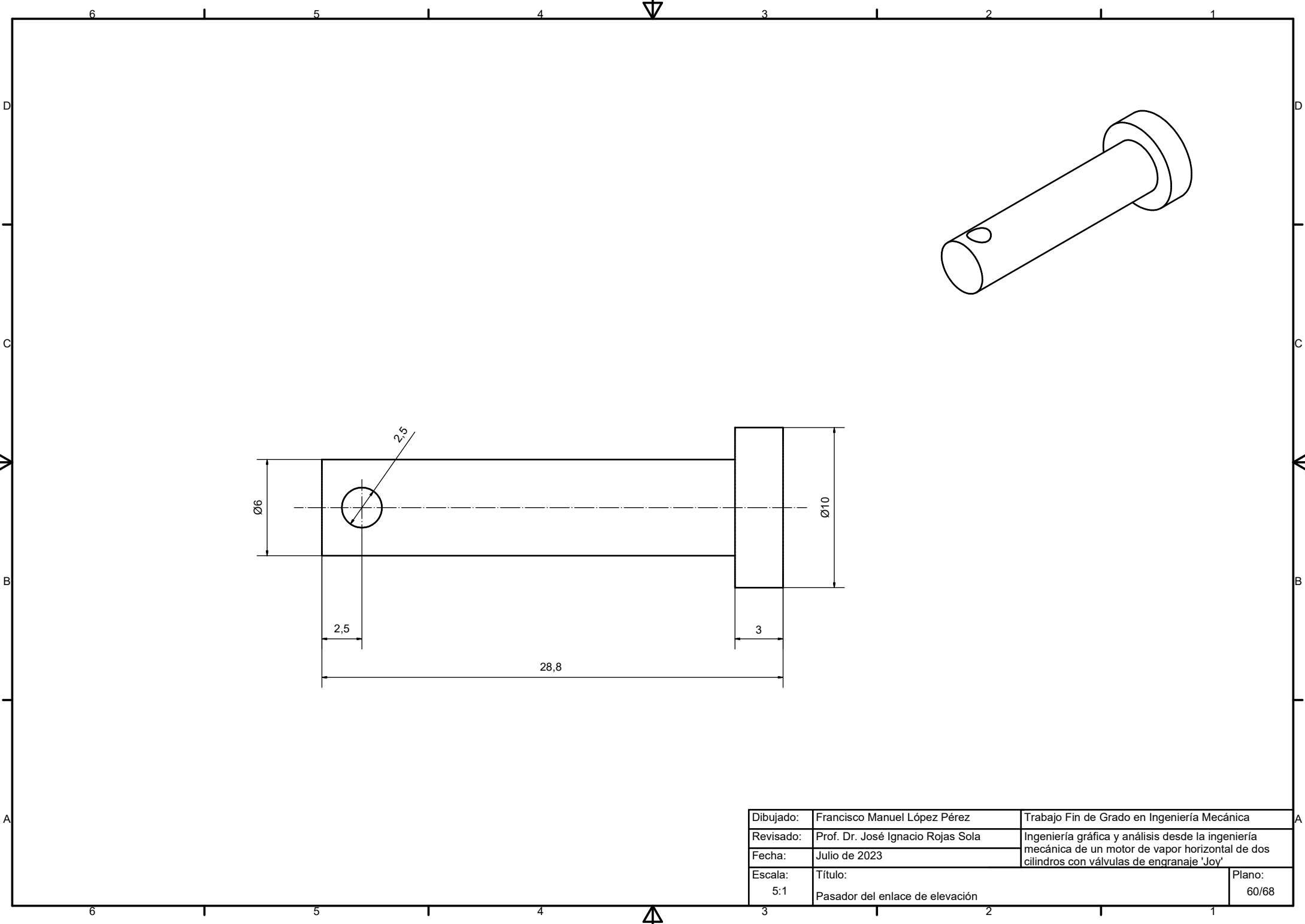
Espesor 8 mm



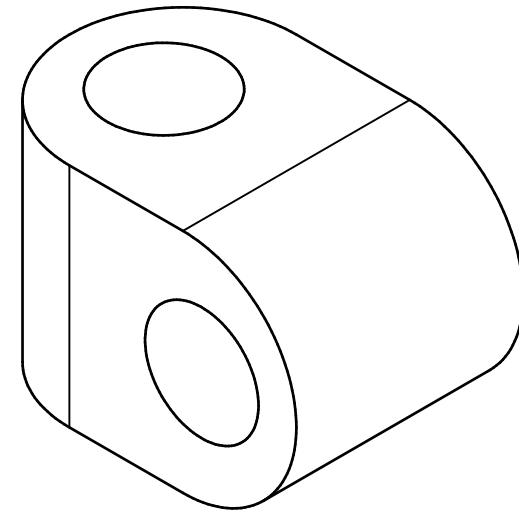
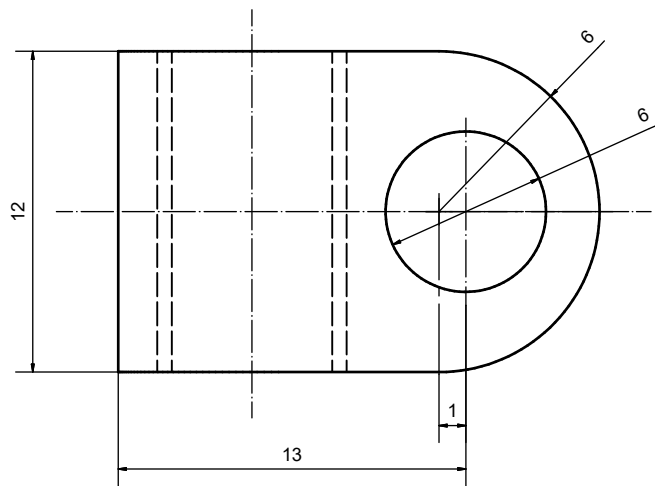
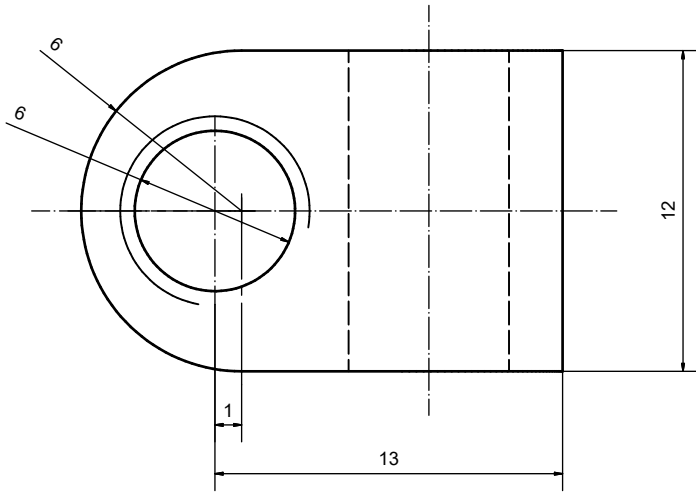
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
5:1	Tuerca corredera del enlace de expansión	58/68



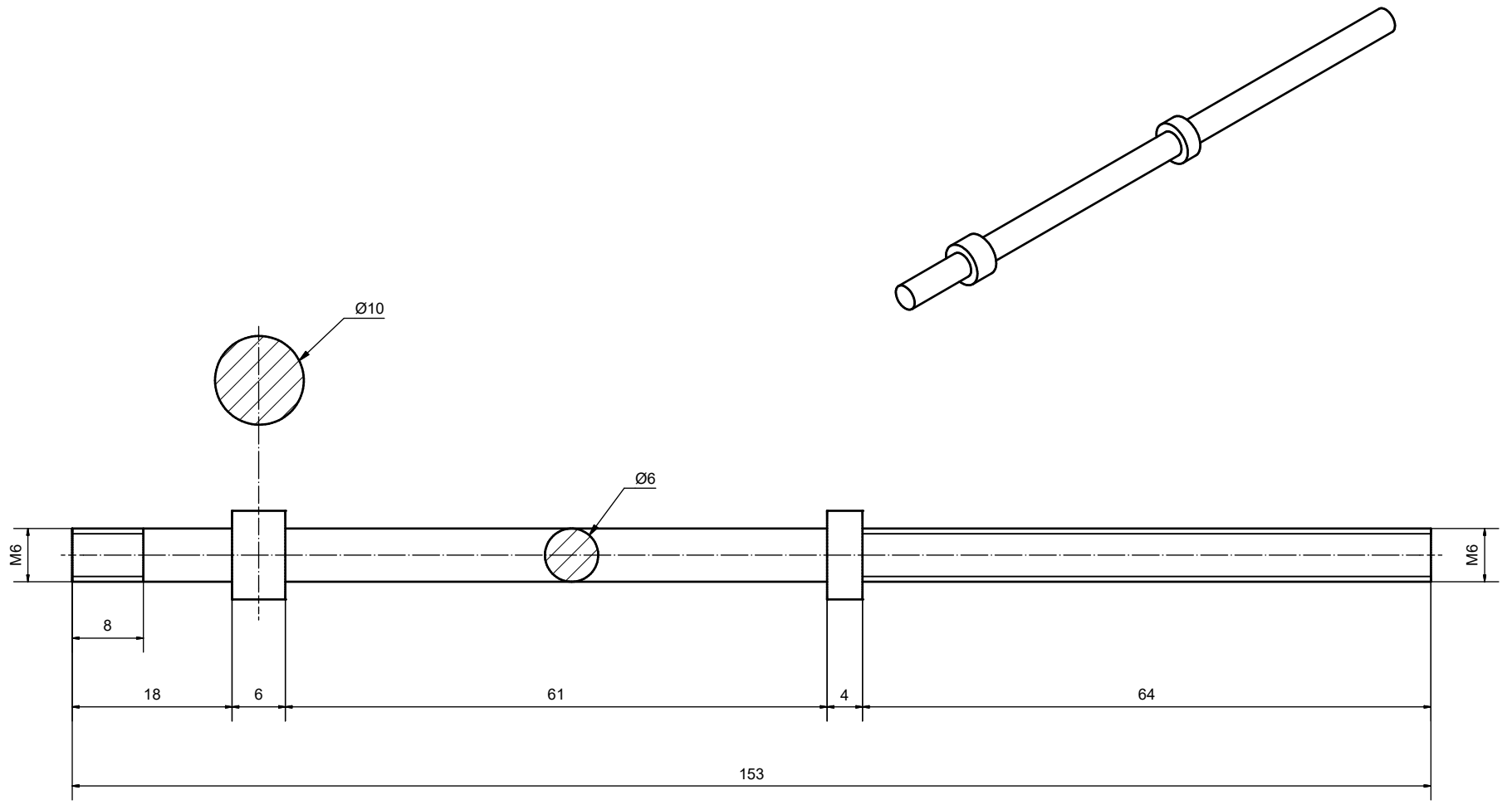
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título: Enlace de elevación	Plano: 59/68



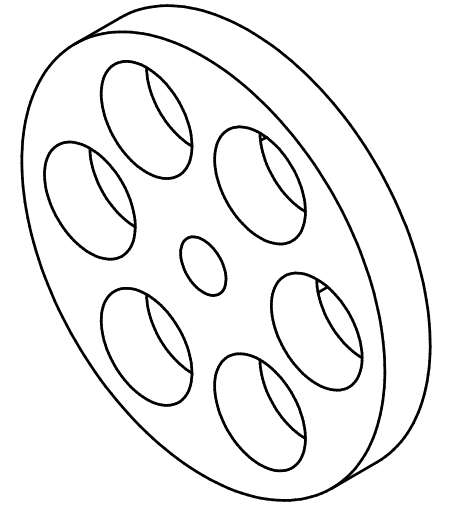
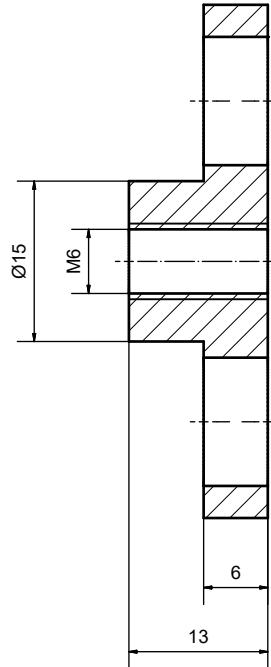
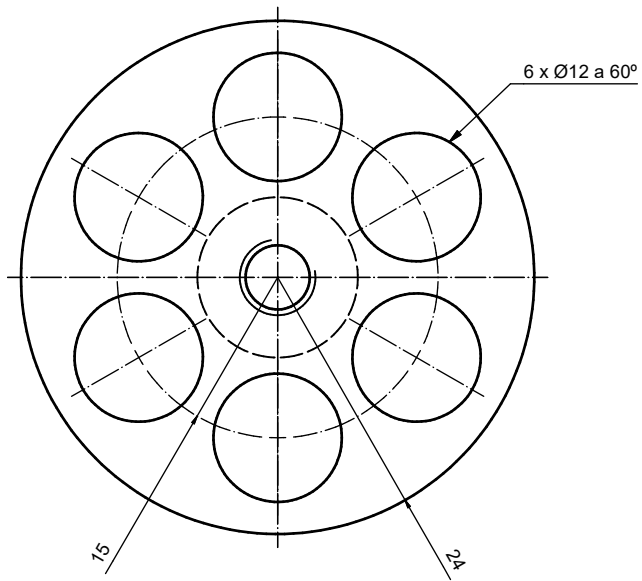
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
5:1	Pasador del enlace de elevación	60/68



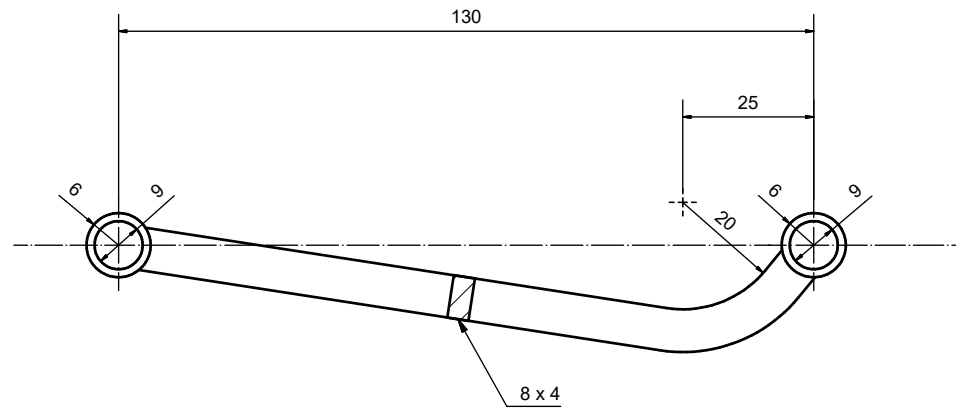
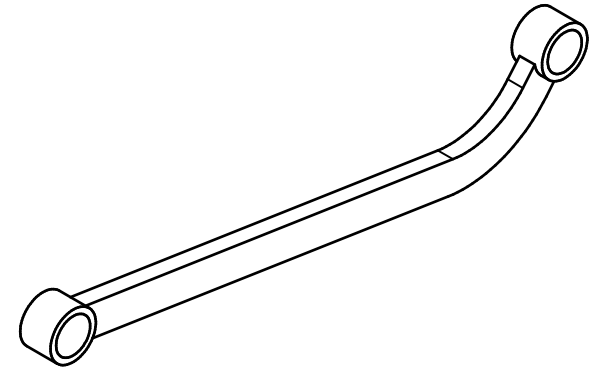
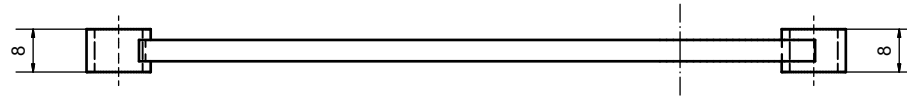
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
5:1	Cojinete del husillo de revolución	61/68



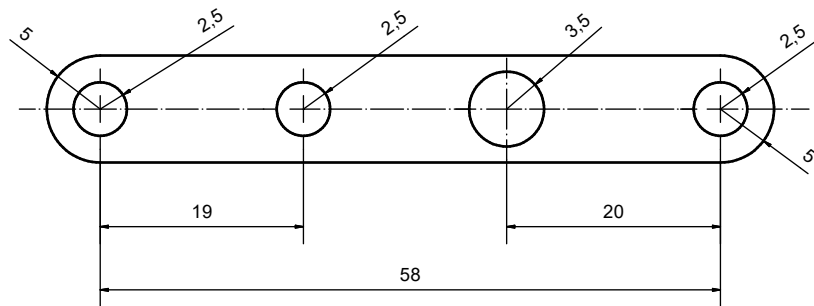
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Eje del husillo de revolución	62/68



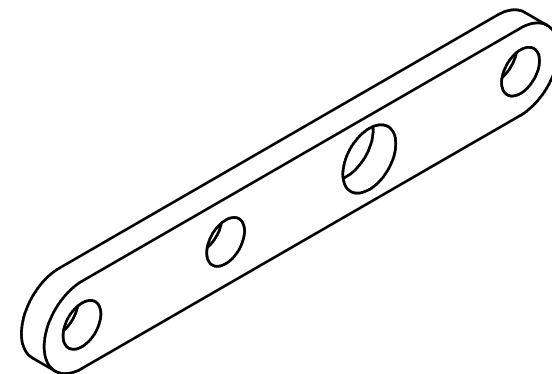
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Maneta del husillo de revolución	63/68



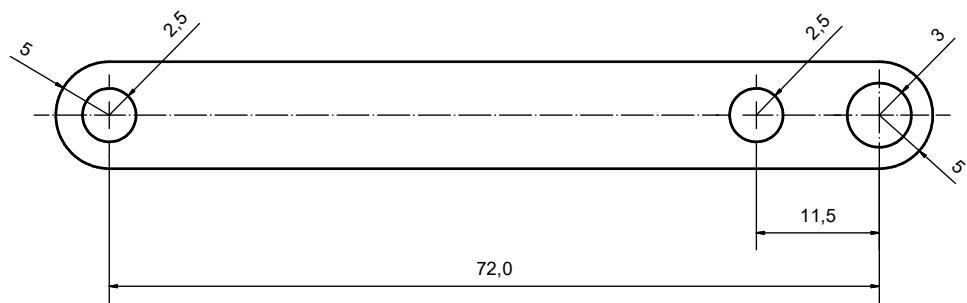
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
1:1	Varilla excéntrica	64/68



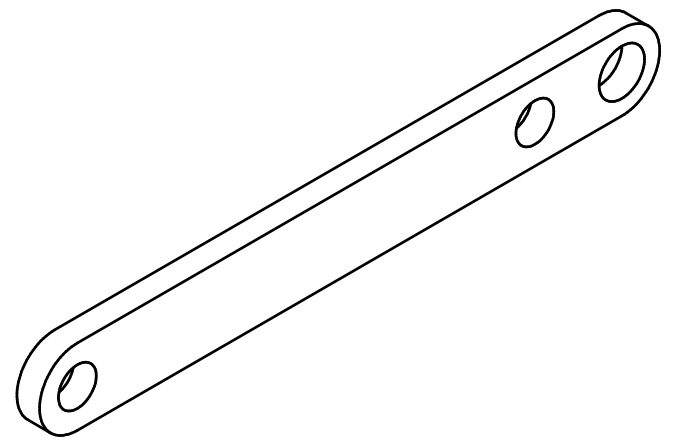
Espesor 3 mm



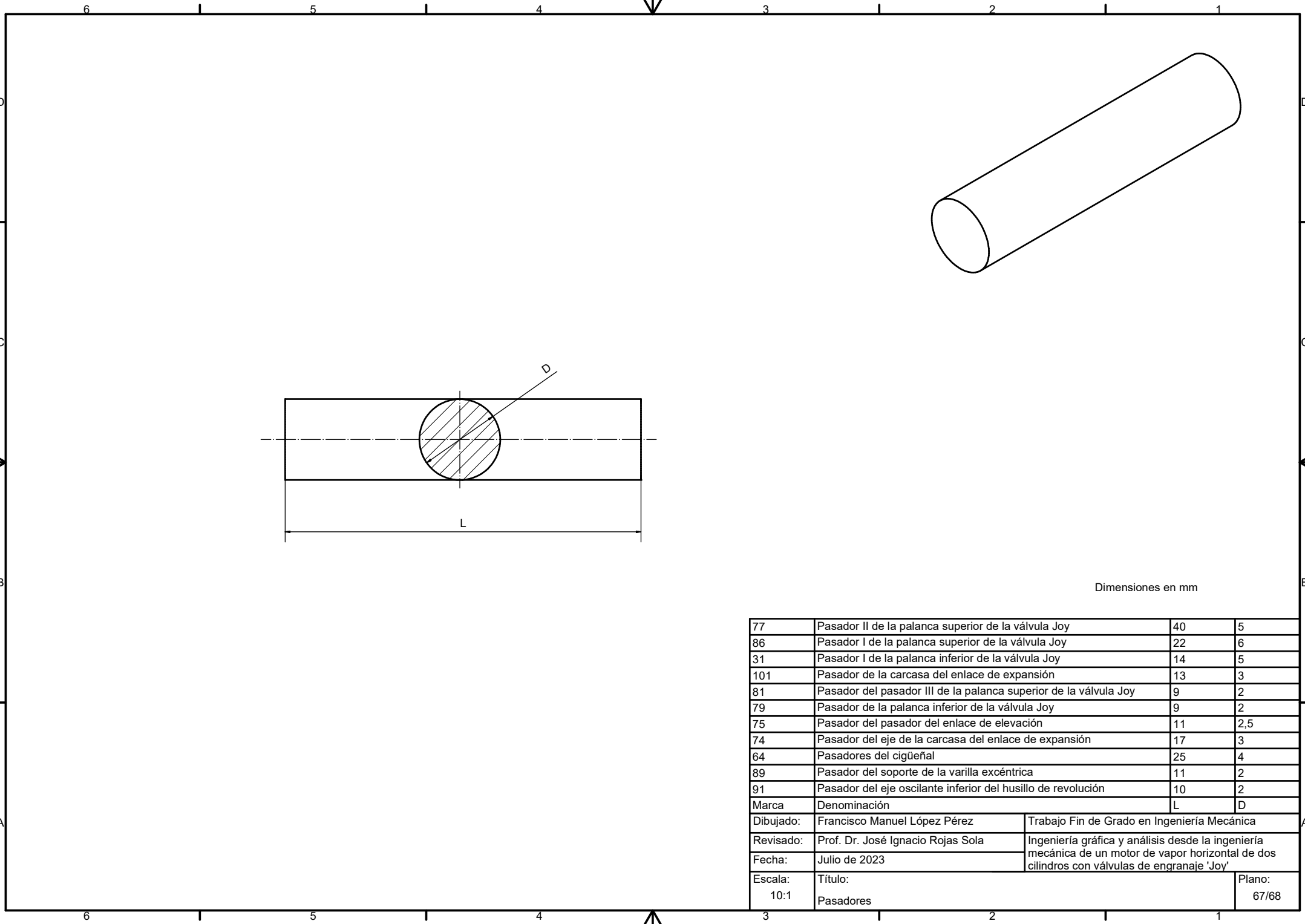
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Pletina de la palanca inferior de la válvula Joy	65/68



Espesor 3 mm

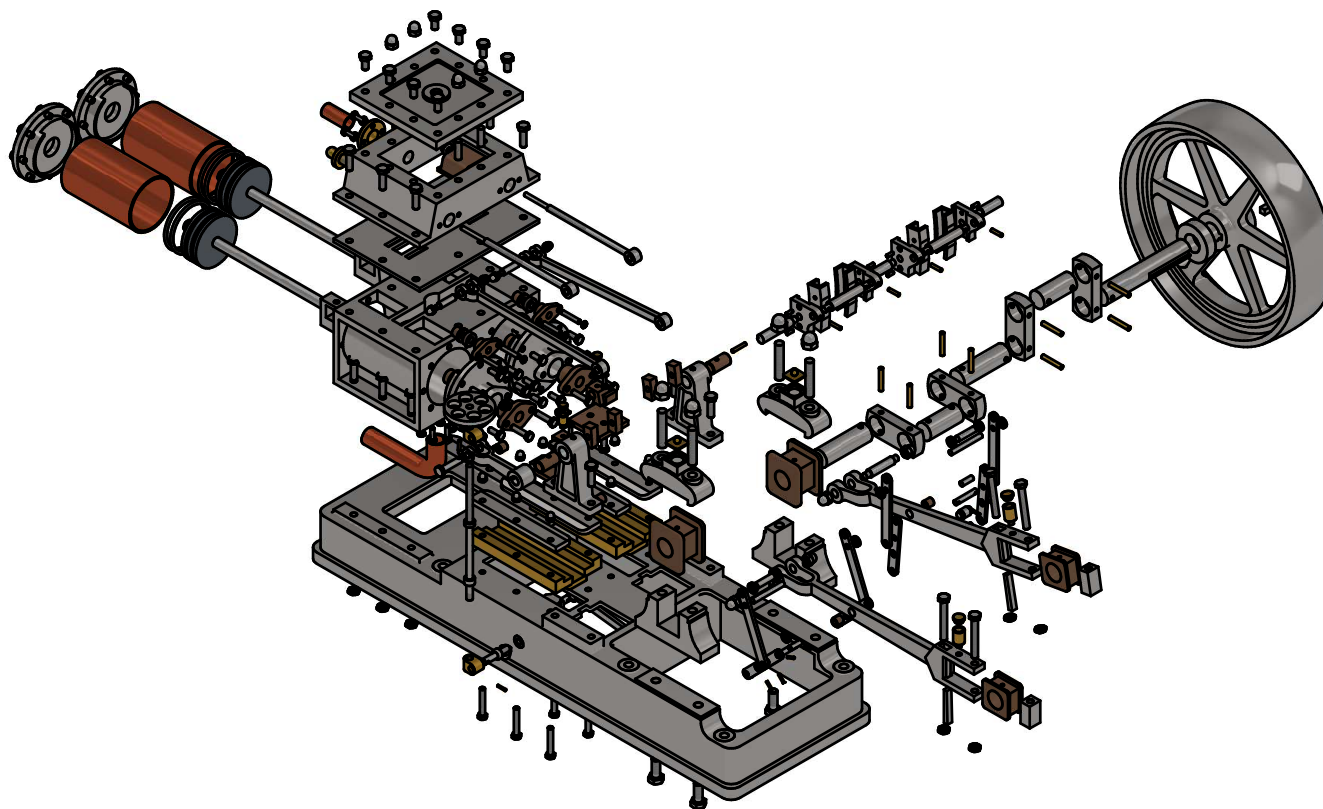


Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
2:1	Pletina de la palanca superior de la válvula Joy	66/68



Dimensiones en mm

77	Pasador II de la palanca superior de la válvula Joy	40	5
86	Pasador I de la palanca superior de la válvula Joy	22	6
31	Pasador I de la palanca inferior de la válvula Joy	14	5
101	Pasador de la carcasa del enlace de expansión	13	3
81	Pasador del pasador III de la palanca superior de la válvula Joy	9	2
79	Pasador de la palanca inferior de la válvula Joy	9	2
75	Pasador del pasador del enlace de elevación	11	2,5
74	Pasador del eje de la carcasa del enlace de expansión	17	3
64	Pasadores del cigüeñal	25	4
89	Pasador del soporte de la varilla excéntrica	11	2
91	Pasador del eje oscilante inferior del husillo de revolución	10	2
Marca	Denominación	L	D
Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica	
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaje 'Joy'	
Fecha:	Julio de 2023		
Escala:	Título:	Plano:	
10:1	Pasadores	67/68	



Dibujado:	Francisco Manuel López Pérez	Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Mecánica
Revisado:	Prof. Dr. José Ignacio Rojas Sola	Ingeniería gráfica y análisis desde la ingeniería mecánica de un motor de vapor horizontal de dos cilindros con válvulas de engranaie 'Joy'
Fecha:	Julio de 2023	
Escala:	Título:	Plano:
1:5	Perspectiva axonométrica estallada	68/68